

Atte Anttila

Asiakasräätälöitävän tuotteen tuoterakenne ja sen hallinta PLM- ja CAD-ympäristössä

Konepajateollisuuden investointilaittevalmistaja

Opinnäytetyö

Kevät 2016

SeAMK Tekniikka

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Atte Anttila

Työn nimi: Asiakasräätelöitävän tuotteen tuoterakenne ja sen hallinta PLM- ja CAD-ympäristössä: Konepajateollisuuden investointilaitevalmistaja.

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi: 2016 Sivumäärä: 73 Liitteiden lukumäärä: -

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia asiakasräätelöitävien tuotteiden tuoterakenteita ja niiden hallintaa PLM- ja CAD-ympäristössä. Suomalaisessa teollisuudessa on konfiguroitavien tuotteiden tuoterakenteita tyypillisesti käsitelty yksittäisten, kiinteiden osalistojen avulla. Tällaisessa lähestymistavassa ongelmaksi muodostuu mahdollisten tuotevarianttien suuri lukumäärä, joka kasvaa eksponentiaalisesti jokaisen tuotteeseen lisättävän option mukaan. Tällöin kaikkien mahdollisten tuotevarianttien kuvaaminen kiinteiden osalistojen avulla ei ole mielekästä tai edes mahdollista toteuttaa. Ratkaisuna ongelmaan on yksittäisten osalistojen korvaajaksi kehitetty geneerinen tuoterakennemalli. Siinä kaikki mahdolliset tuotekonfiguraatiot pystytään kuvaamaan yhden, hierarkisen tuoteperherakenteen avulla, jolloin vältetään päällekkäisen tiedon ylimäärään ja tuoterakenteen ylläpitoon liittyvät ongelmat. Soveltamalla lisäksi modulaarista suunnittelukonseptia tuoterakennetta laadittaessa, on yrityksellä mahdollista tehostaa merkittävästi tuotetiedon hallintaa ja sitä kautta parantaa kilpailukykyä. Tässä työssä lähdemateriaalista on poimittu teorialtietoa geneerisen tuoterakenteen idean esiin tuomiseksi. Monissa työssä käytetyissä materiaaleissa on myös paljon käytännön teoriaa liittyen erityisesti tuotekonfiguraattorien ohjelmointiin ja ohjelmistologiikkaan. Monesti geneerisen tuoterakenteen käyttöönoton esteenä ovat juuri ohjelmistolliset ongelmat, koska konfigurointiin ja tuoterakenteiden hallintaan käytettävät ohjelmistot ovat toiminnoiltaan vielä jossain määrin puutteellisia. Opinnäytetyön toisessa osiossa tutkittiin levytyökeskuksen pääkoonpanon esittämistä CAD-ohjelmistossa. Aiemmin suurten pääkoonpanojen käsittely on ollut suunnitteluohjelmistoissa mahdotonta niiden aiheuttaman suuren laskentakuormituksen takia. Uusimmissa ohjelmistoissa on kuitenkin saatavilla suurten pääkoonpanojen käsittelyyn tarkoitettuja työkaluja, joilla kokoonpanoja voidaan yksinkertaistaa laskentakuormituksen pienentämiseksi. Solid Edge -suunnitteluohjelmistossa kokoonpanojen yksinkertaistaminen osafilteröinnin avulla osoittautui hyvin tehokkaaksi ratkaisuksi ja mahdollisti suurten kokoonpanojen käsittelyn tietokoneen näytöllä. Yhteisen pääkoonpanon avulla on mahdollista parantaa merkittävästi tuotekehityksen ja ylläpitosuunnittelun tehokkuutta sen mahdollistaessa paremman kokonaisuuden hallinnan.

Avainsanat: geneerisyys, konfigurointi, kokoonpano, modulaarisuus, rakenne, tietokoneavusteinen suunnittelu, tuotekehitys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Machine and Production Technology

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Atte Anttila

Title of thesis: Handling of configurable product structures and main assemblies in PLM and CAD environment: Finnish machine tool manufacturer

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2016 Number of pages: 73

The aim of this thesis was to evaluate different kinds of approach methods concerning the product data management of configurable product structures in the PLM and CAD environment. Typically, companies have been using unique BOMs to define each possible variant of a configurable product. However, this kind of method becomes impossible as the number of product variants increases exponentially with each variant or option added to the product model. The solution presented for managing configurable products is a generic product structure. It describes the whole variety of product variants in a single product data model. With the generic product structure it is possible to avoid such problems as data redundancy and data explosion which are common when using unique BOMs for each product variant. Also by utilizing the modular product architecture when forming configurable product structure concepts, a company has a possibility to increase its market competitiveness significantly.

In this thesis the main idea of a generic product model is presented. There is also plenty of knowledge concerning the programming of configurator models in the referenced material, which may come into use as even the modern PLM systems are to some extent inadequate when managing configurable products. The other dimension of the thesis was to investigate if it is possible to present the whole main assembly of a turret punch press in a modern CAD-environment using the provided design tools for large assemblies. The CAD-system and its tools proved to be very capable when managing large assemblies containing thousands of parts. The best effect was achieved by using an assembly simplification method with part filtering and a construction body representation. With the CAD main assembly, it is possible to improve the product design effectivity as it provides a collective view of the complete product to everybody in the product development team.

Keywords: assembly, computer assisted design, configuration, generic, product development, structure

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet	8
1 JOHDANTO	10
2 YRITYKSEN JA TUOTTEIDEN ESITTELY	12
2.1 Prima Power	12
2.2 Levytyökeskus	12
2.3 Uusi Genius sarja.....	14
2.4 Prima Power FMS.....	14
2.4.1 PunchBend	14
2.4.2 PSBB ja LPBB	15
2.4.3 Night Train	15
2.5 Esimerkkejä asiakasräätälöityvyydestä Prima Powerin tuotteissa	16
3 TYÖN TAVOITTEET	18
4 TUOTERAKENTEET ASIAKASRÄÄTÄLÖIDYISSÄ TUOTTEISSA	20
4.1 Johdanto	20
4.2 Tuotteen elinkaaren hallinta ja tuoterakenne	21
4.3 Osaluettelo, <i>Bill of Materials</i> , <i>BOM</i>	22
4.4 Osaluettelo varioituvassa tuotteessa	24
4.5 Geneerinen tuoterakenne	25
4.6 Geneerisen tuoterakenteen avulla tapahtuva konfigurointi	27
4.7 Asiakasräätälöitävän tuotteen tilaus-toimitusprosessi.....	29
4.8 Modulaarisuus konfiguroitavassa tuotteessa	31
5 PÄÄKOKOONPANON HALLINTA TEAMCENTERISSÄ	36
5.1 Johdanto	36
5.2 Perustelut tuotetiedon hallintajärjestelmän käyttöön	37

5.3	PLM-ohjelmiston järjestelmäarkkitehtuuri	38
5.4	Teamcenter.....	39
5.5	Esimerkkejä PLM-järjestelmän toiminnoista	40
5.5.1	Osalistojen vertailu	40
5.5.2	Nimikkeen korvaaminen tuoterakenteessa	42
5.5.3	Hakutoiminnot.....	43
5.5.4	Revisiointi ja revisiosäännöt.....	44
5.6	Asiakastoimituksen konfigurointi PLM-ohjelmistossa.....	47
5.6.1	Varianttiehdon laatiminen	47
5.6.2	Teamcenterin toiminnassa havaitut puutteet	50
6	PÄÄKOKOONPANON HALLINTA SOLID EDGE:SSÄ.....	54
6.1	Johdanto	54
6.2	Yhteinen pääkokoontuotekehitysorganisaation apuna	55
6.3	Yksinkertaistettu kokoonpano ja sen muodostamistavat.....	56
6.3.1	Piirrepohjainen, <i>model</i>	56
6.3.2	Osafilteröinti, <i>visible faces</i>	56
6.4	Kokoonpanon yksinkertaistaminen osafilteröinnin avulla	57
6.5	Konfiguraatioiden hallinta Solid Edge:ssä.....	59
6.5.1	Alternate assembly	60
6.5.2	Konfiguraatioiden käyttö	61
6.5.3	Muutosten tallentaminen Teamcenteriin	63
6.6	Havaintoja simplified -työkalujen ja konfiguraatioiden käytöstä	64
6.6.1	Yksinkertaistetun kokoonpanon päivittäminen	64
6.6.2	Pääkokoonpanon käyttö piirustuksissa	65
6.6.3	Piirrepohjaisen menetelmän hyödyntäminen koneistusosissa	66
7	YHTEENVETO.....	68
	LÄHTEET	71

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Levytyökeskus ja kulmaleikkuuyksikkö	13
Kuva 2. FMS-järjestelmä: PSBB + Combo Storage	15
Kuva 3. Osalista piirustuksessa	22
Kuva 4. Osalista Teamcenterin Structure Managerissa	23
Kuva 5. Teamcenter –datasetit	39
Kuva 6. Kokoonpanorevisioiden vertailu Structure Managerissa	41
Kuva 7. Uuden nimikkeen käyttöön ottaminen <i>precise</i> -rakenteessa	42
Kuva 8. Attribuuttitietoihin pohjautuva nimikehaku Teamcenterissä	43
Kuva 9. Revisiosääntö	45
Kuva 10. Revisiot	46
Kuva 11. Varianttilause	48
Kuva 12. Varianttiehto	49
Kuva 13. Konfiguraattorin kysymyskaavake	50
Kuva 14. Konfiguroinnin tavoite	51
Kuva 15. Simplified Assemblyn luominen osafilteröinnin avulla	58
Kuva 16. Yksinkertaistettu kokoonpano	59
Kuva 17. Konfiguraatioiden hallintaikkuna	61
Kuva 18. Suunnittelun pääkokoonpano (Combi Genius)	62
Kuva 19. Solid Edgen välimuistin hallintatyökalu	63
Kuva 20. Simplified Assemblyn päivittäminen	65

Kuva 21. Piirrepohjaisen menetelmän käyttö koneistettavissa osissa	67
Kuvio 1. Geneerinen tuoterakenne	27
Kuvio 2. Konfiguraatio	28
Kuvio 3. Asiakasräätälöitävän tuotteen tilaus-toimitus prosessi	30

Käytetyt termit ja lyhenteet

Dataset	(suom. datasetti) Tiedosto, joka liitetään nimikkeeseen. Voi olla esimerkiksi CAD-tiedosto tai piirustuksesta luotu PDF –tiedosto.
Designed	Kokoonpanon tai osan täydellinen malli: kokoonpano tai osa näkyy näytöllä siten, kuin se on suunniteltu.
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä (eng. <i>Enterprise Resource Planning</i>)
Item	(suom. nimike, ”itemi”). Teamcenterissä käytetty nimitys objektista, joka kuvaa yhtä osaa tai kokoonpanoa. Nimike on objektin ”kansio”, johon voidaan tallentaa datasettejä ja attribuuttitietoa.
Mikrokiinnike	Levytyökappaleen äärimuotojen ympärille jätettäviä pieniä työstämättömiä alueita, jolloin kappale ei irtoa työstön aikana täysin aihiolevystä. Osat irrotetaan levyrangasta manuaalisesti vasta kun koko materiaaliaihio on käsitelty. Käytetään suurissa kappaleissa, joita ei voida poistaa levyrangasta työstöprosessin aikana.
PDM	Tuotetiedonhallinta (eng. <i>Product Data Management</i>).
PLM	Tuotteen elinkaaren hallinta (eng. <i>Product Lifecycle Management</i>).
Revisio	Nimikkeen versio. Ensimmäinen revisio on ns. 0-revisio ja sen jälkeiset revisiot nimetään aakkosittain: A, B, C jne. Revisio tehdään, kun esimerkiksi valmistuskuvissa tapahtuu muutoksia. Revisiotietokenttään kirjoitetaan kuvaus tapahtuneesta muutoksesta.
Revisiosääntö	Luokitteluehto, jonka mukaan Teamcenter valitsee, mitä revisiota osasta tai kokoonpanosta käytetään.

Simplified	Nimitystä käytetään, kun kokoonpano on yksinkertaistetussa tilassa. Käytetään myös ympäristöstä Solid Edgessä, jossa yksinkertaistettu kokoonpano on mahdollista muodostaa.
Simplified Assembly	Solid Edge –kokoonpanon yksinkertaistettu malli.
Solid Edge	CAD-suunnitteluohjelmisto.
Teamcenter	Tuotteen elinkaaren hallintaohjelmisto.

1 JOHDANTO

Parantaakseen kilpailukykyään voimakkaasti kilpailluilla markkinoilla ovat monet teknologiateollisuuden toimijat siirtyneet yhä enemmän asiakkaan toiveiden mukaan räätälöitäviin tuotteisiin (Tiihonen ym. 1998, 2). Pitkälle asiakasräätälöivät tuotteet aiheuttavat kuitenkin haasteita tuotetiedon hallinnalle, koska tuotetiedon määrä kasvaa tuotteeseen saatavien varianttien ja optioiden mukaan (Jiao ym. (2000, 2). Perinteinen tapa konfiguroitavien tuotteiden tuoterakenteiden esittämiseen on ollut määrittää jokaiselle tuotevariantille oma, yksilöllinen osaluettelonsa, jota kehitetään ja ylläpidetään. Yksittäisten osalistojen hallinta on kuitenkin hyvin tehotonta ja varianttien lukumäärän kasvaessa huomataan, että tällaisten yksittäisten osalistojen laatiminen ja ylläpito muodostuu mahdottomaksi. (Jiao, 2002, 3.) Nykyaikaiset tuotteen elinkaaren hallintaan tarkoitetut järjestelmät tarjoavat suunnitteluun ja tuotetiedon hallintaan paljon mahdollisuuksia, joilla pitkälle räätälöitävien tuoterakenteiden hallintaa voidaan tehostaa ja yksinkertaistaa huomattavasti (Peltonen ym. 2002, 92).

Tämän työn tarkoituksena on tutkia, miten konfiguroitavia kokoonpanoja voidaan hallita PLM- ja CAD-pohjaisessa suunnitteluympäristössä. Kiinnittämällä huomiota tuoterakenteiden laatimiseen, sekä moduulijattelun soveltamiseen PLM – ympäristössä on yrityksellä mahdollista saada aikaan suuria rahallisia säästöjä (Österholm & Tuokko 2001, 4). Samalla voidaan mahdollisesti parantaa suunnittelun kykyä vastata eteen tuleviin kehitystehtäviin ja projekteihin. Suunnittelun laadun parantamisessa on tärkeää, että suuresta tuotetiedon määrästä huolimatta kaikilla on yhteinen kokonaisnäkemys valmiista tuotteesta (Ala-Prinkkilä 2015). Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on tässä työssä myös tutkittu, voidaanko nykyaikaisen suunnitteluohjelmiston työkaluja hyödyntämällä käsitellä suuriakin pääkokoonpanoja CAD-ohjelmistossa.

Tuotetiedon hallintaan liitetään usein lyhenteet PDM ja PLM. Ensimmäinen tarkoittaa tuotetiedon hallintaa ja toinen tuotteen elinkaaren hallintaa (Peltonen ym. 2002, 9). PLM on terminä kattavampi, koska mm. Siemens markkinoi Teamcenteriä PLM-järjestelmänä, jossa PDM on yksi järjestelmän sisään rakennettu ominaisuus (Siemens PLM Software 2015). PLM on tässä tapauksessa

siis kattavampi sisältäen sekä tuotetiedon - että tuotteen elinkaaren hallinnan piirteitä. Tässä työssä käytetään muutamaa poikkeusta lukuunottamatta lyhennettä PLM, jolloin viitataan myös tuotetiedon hallintaan.

2 YRITYKSEN JA TUOTTEIDEN ESITTELY

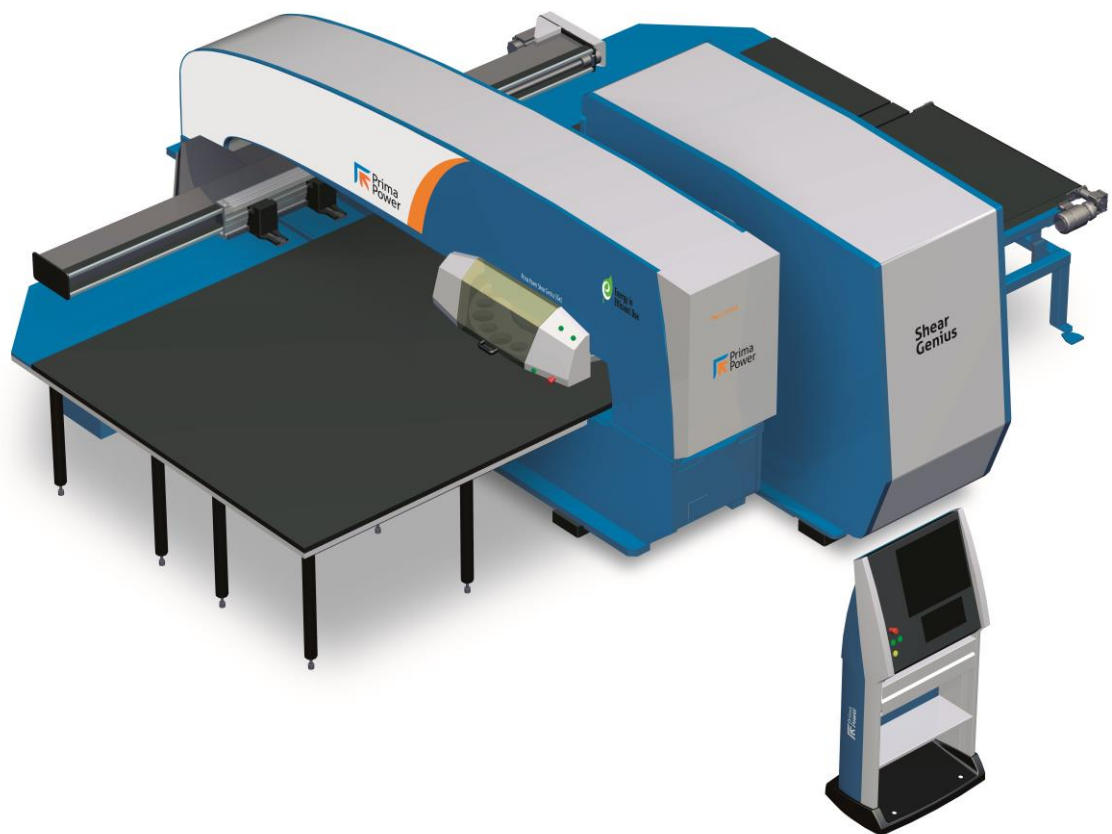
2.1 Prima Power

Prima Power on kansainvälinen levytyötekniikkaan erikoistunut investointilaittevalmistaja, joka tuottaa kokonaisvaltaisia ratkaisuja ohutlevytekniikkaan keskittyvään tuotantoon. Prima Powerin tuotteisto kattaa lävistuskoneet, yhdistetyt lävistys- ja kulmaleikkuu-, lävitys- ja laserleikkuukoneet sekä materiaalinhallintalaitteet. Ydinsaamista ovat myös 2D- ja 3D – laserleikkuujärjestelmät, joissa levyntyöstö perustuu paikallaan olevan materiaaliainion pinnalla liikkuvaan, CNC-ohjattuun leikkuupäähän. Yritys valmistaa lisäksi särmäyspuristimia, sekä paneelitaittelukoneita eli ”bendereitä”. Prima Power on osa Prima Industrieta, johon kuuluu myös Prima Electro, joka on erikoistunut teollisuuselektroniikkaan ja lasertekniikkaan. Suomessa Prima Power tunnettiin aiemmin nimellä Finn-Power Oy, joka yhdistettiin osaksi Prima Industrie -konsernia vuonna 2008. Suomen tehdas sijaitsee Kauhavalla ja vastaa lävistuskoneiden, sekä kombikoneiden (yhdistetty lävistys ja kulmaleikkuu sekä lävistys ja laserleikkuu) suunnittelusta ja kokoonpanosta sekä FMS-järjestelmissä käytettyjen materiaalinkäsittelylaitteiden ja -varastojen suunnittelusta ja kokoonpanosta. Italian tehtailla, valmistetaan 2D- ja 3D -laserleikkuukoneita (Collegno, Torino), sekä särmäyslaitteita (Cologna Veneta, Verona). (Prima Power 2015.)

2.2 Levytyökeskus

Levytyökeskus –nimitystä käytetään koneesta, joka käsittelee ohutlevyaihiota poistamalla siitä materiaalia lävistävin tai leikkaavin menetelmin. Työstö voidaan suorittaa laserleikkuulla, lävistystyökaluilla tai kulmaleikkurilla. Levyyn voidaan tehdä myös kolmiulotteisia muotoja muovaavilla lävistystyökaluilla. Prima Powerin levytyökeskus koostuu rungosta, lävistuskoneistosta, työkalurevolverista, koordinaattipöydästä ja harjaspöydästä. Kone liikuttaa levyaihiota harjaspöytien päällä koordinaattipöydän avulla, jota käytetään sähköservo -ohjatuilla

kuularuuveilla. Työkalut on varastoitu työkalurevolveriin, jota pyörittämällä lävistyskoneiston alapuolelle saadaan asemoitua haluttu työkalu. Laserleikkuuyksikkö on koneeseen saatava lisävaruste, jolla voidaan tehdä sellaisia 2D -muotoja, joita ei työkalujen avulla ole mahdollista tai mielekasta tehdä. Laserleikkuuta käytetään myös silloin, kun ohutlevykappaleilta edellytetään virheetöntä reunan laatua. Leikkaus voidaan vaihtoehtoisesti suorittaa myös koneeseen lisävarusteena kytkettävän kulmaleikkurin avulla, joka on käyttökelpoinen vaihtoehto silloin, kun ohutlevykappale on pääpiirteiltään suorakulmainen. Kulmaleikkurilla on mahdollista irrottaa työstetyt osat aihiolevystä siten, että prosessissa ei jää jäljelle hankalasti käsiteltävää materiaalirankaa. Levytyökeskukseen kytketään usein myös lisälaitteita, joilla prosessin automaatioastetta voidaan kasvattaa. Näitä ovat erilaiset lastaus- ja purkulaitteet, sekä kappalekuljettimet ja -lajittelujärjestelmät. (Prima Power 2015.)



Kuva 1. Levytyökeskus ja kulmaleikkuuyksikkö
(Prima Power 2015)

2.3 Uusi Genius sarja

Prima Power esitteli loppuvuodesta 2015 uuden Genius® -tuoteperheen. Uudessa mallisarjassa tullaan toteuttamaan entistä modulaarisempia ja helpommin räätälöitäviä ratkaisuja. Erityishuomiota on kiinnitetty koneen helppoon käytettävyyteen ja ergonomiaan. Lisäksi uudessa koneessa tullaan toteuttamaan yrityksen uutta muotoilusuuntaa. Genius –sarjan ensimmäiset koneet esiteltiin BlechExpo –messuilla, Stuttgartissa, marraskuussa 2015. Opinnäytetyö on yrityksessä ajankohtainen, koska uuden tuoteperheen lanseeraus antaa mahdollisuuden toteuttaa asiat eri tavalla, kuin aiemmin.

2.4 Prima Power FMS

Lyhenne "FMS" tulee sanoista Flexible Manufacturing System. Se tarkoittaa joustavaa valmistusjärjestelmää, jossa tuotannon mukautuvuus vaihteleviin työtilauksiin on avainasemassa. Prima Powerin FMS –ratkaisut voidaan jakaa viiteen luokkaan: PunchBend, PSBB, LPBB, Combo FMS® ja Night Train FMS®. Järjestelmien ideana on integroida yksittäiset tuotantovaiheet yhdeksi joustavaksi prosessiksi, johon kuuluu mm. automatisoitu materiaalivarasto, aihion automaattinen lastaus levytyökeskukselle, valmiiden kappaleiden poiminta ja lajittelu, sekä edelleen toimitus joko särmäyskoneelle, pintakäsittelyyn tai varastoon. Koko prosessi on mahdollista toteuttaa täysin automatisoidusti; jopa miehittämättömänä ajona yön yli. Ainoa manuaalinen työtehtävä on raaka-ainemateriaalin toimittaminen varastoon. (Prima Power 2015.)

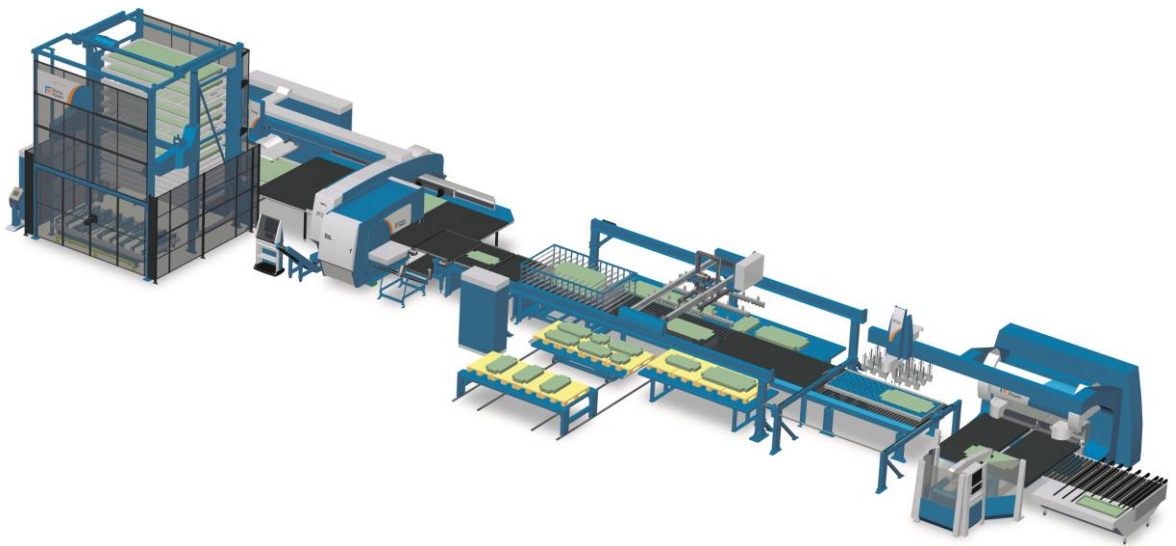
2.4.1 PunchBend

PunchBend systeemi sisältää levytyökeskuksen ja taivutusautomaatin, eli benderin, sekä näitä palvelevat lastauslaitteistot. Ensin lastauslaite nostaa aihiolevyn levytyökeskukselle. Työstöprosessin jälkeen poimintarobotti siirtää muokatut levykappaleet taivutusautomaatille, joka taivuttaa ne haluttuun muotoon. Valmiit kappaleet ohjautuvat sen jälkeen taivutusautomaattiin integroidun

kuljetinjärjestelmän kautta poimintatasolle, josta ne voidaan siirtää varastoon tai seuraavaan prosessiin, kuten hitsaukseen ja maalaukseen. (Prima Power 2015.)

2.4.2 PSBB ja LPBB

PSBB ja LPBB ovat PunchBend:stä edelleen kehittyneempiä järjestelmiä. Niihin kuuluu levytyökeskuksen ja taivutusautomaatin lisäksi hyllyvarasto: Combo Storage (kuva 2) tai Night Train®, joissa voidaan säilyttää useita levymateriaalikasetteja vaihteleville ainevahvuuksille ja materiaaleille. PSBB ja LPBB systeemin puolivälissä sijaitsee kappaleen käsittelylaitteistoa, jonka avulla levytyökeskukselta tulevia aihioita voidaan lajitella pinoihin. Laitteisto käyttää myös puskurivarastoa, jonka avulla taivutusautomaatille menevää materiaalivirtaa voidaan kontrolloida. PSBB:n ja LPBB:n lyhenteet tulevat sanoista Punching – Shearing – Buffering – Bending; Laser cutting – Punching – Buffering – Bending. (Prima Power 2015.)



Kuva 2. FMS-järjestelmä: PSBB + Combo Storage
(Prima Power 2015)

2.4.3 Night Train

Prima Power Night Train on hyllyjärjestelmä, jolla materiaalivaraston kapasiteettia voidaan kasvattaa huomattavasti. Järjestelmään voidaan varastoida

raakamateriaalin lisäksi myös valmiit ja keskeneräiset työkappaleet. Hyllyjärjestelmä on täysin modulaarinen ja se mitoitetaan asiakkaan varastotarpeen mukaan. Night Train -järjestelmässä junan kaltainen robotti liikkuu hyllyrivistöjen välissä ja noutaa materiaalikasetteja prosessitarpeen mukaan tuomalla uuden materiaalikasetin sitä tarvitsevalle koneelle tai hakemalla valmiita kappaleita sisältävän kasetin varastoitavaksi. (Prima Power 2015.)

Varsinaisten FMS –järjestelmien lisäksi on saatavilla kompakteja ratkaisuja, joilla voidaan automatisoida pelkän levytyökeskuksen lastaus- ja purkutoimintaa. Compact Express® on yhdistetty lastaus- ja purkulaite, joka vastaa materiaaliastian viennistä levytyökeskukselle, sekä käytetyn materiaalirangan poistamisesta levytyökeskukselta. Levytyökeskuksiin on lisäksi kytkettävissä monia erilaisia lastaus-, purku- ja lajittelurobotteja, jotka voivat poimia ja lajitella levytyökeskukselta sellaisia kappaleita, jotka ovat liian suuria levytyökeskuksen pudotusluukkujen kautta käsiteltäviksi. Näin päästään eroon mikrokiinnikkeiden käytöstä suurissa kappaleissa, sekä työstä joka kuluisi näiden kappaleiden irrotukseen materiaalirangasta. (Prima Power 2015.)

FMS –järjestelmätoimitusten tarkoituksena on tuottaa asiakkaalle kokonaisvaltaisia ratkaisuja, jotka tuovat lisää tehokkuutta asiakkaan tuotantoon ja minimoivat lisäarvoa tuottamattoman työn asiakkaan prosessissa. Monipuoliset, asiakkaan mukaan räätälöivät järjestelmätoimitukset ovat Prima Powerille selkeä kilpailuetu muihin ohutlevytekniologiatoimittajiin verrattuna, mutta asettavat suuret haasteet suunnittelulle ja tuotetiedonhallinnalle. (Hauhtonen 2015.) Levytyötekniologian markkinalla on kova kilpailu asiakkaista ja toimijoita on useita. Menestyksen edellytys on tuotekehitykseen käytetyn ajan tehokas käyttö ja valmiin tuotteen saaminen markkinoille mahdollisimman nopeasti (Sarinko 1999, 15).

2.5 Esimerkkejä asiakasräätälöityvyydestä Prima Powerin tuotteissa

Prima Powerin laitetoimitukset sisältävät sekä variantteja, että optioita. Variantit ovat toistensa suhteen vaihtoehtoisia valintoja, jotka on tehtävä laitetoimitusta konfiguroitaessa. Esimerkiksi Punch Genius® levytyökeskukseen asiakas voi valita, minkälaisen työkalurevolverin hän haluaa koneeseensa asennettavan.

Työkalurevolvereista on olemassa neljä eri vaihtoehtoa lävistävien- ja muovaavien työkalujen lukumäärän mukaan. Optiot ovat laitteeseen valittavia lisävarusteita, joita ovat esimerkiksi kappaleen lajittelujärjestelmät sekä erilaiset liitynnät FMS-järjestelmään. (Prima Power 2015.) Stand-alone -koneissa ei toimituskohtaista suunnittelutyötä tarvita tilaus-toimitus prosessin aikana, mutta FMS -ratkaisuja sisältävissä toimituksissa esimerkiksi layout -suunnittelun merkitys korostuu (Rintaniemi 2015).

On huomioitavaa, että variantti ei välttämättä ole koneen suorituskykyyn vaikuttava ominaisuus. Esimerkiksi levytyökeskuksen sähköjärjestelmä varioituu jo senkin mukaan, onko kohdemaassa käytössä 50 Hz:n vai 60 Hz:n sähköverkko. Tyypillinen levytyökeskuksen asiakastilauksen työmääräin sisältää noin 50 varioituvaa riviä, joista osa on koneeseen valittavia optioita ja loput konfigurointitapahtuman aikana valittavia variantteja. (Prima Power 2015.)

3 TYÖN TAVOITTEET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, millä tavalla levytyökeskuksen konfiguroitava pääkokoonpano olisi parasta esittää. Lisäksi oli selvittävä, miten pääkokoonpanoa pystytään hallitsemaan PLM- ja CAD-ympäristössä. Näiden pää tavoitteiden pohjalta opinnäytetyö jaettiin kolmeen eri ulottuvuuteen:

- Tutkia, miten asiakasräätelöivän tuotteen tuoterakenne on parasta esittää
- Tutkia, voidaanko Teamcenteriin muodostaa pääkokoonpanon geneerinen tuoterakenne ja tuotekonfiguraattori varianttien avulla, sekä toteuttaa konfiguraatioprosessi ilman ERP -siirtoa
- Selvittää, onko pääkokoonpano mahdollista esittää Solid Edge -suunnitteluohjelmistossa

Näiden tehtävien perusteella opinnäytetyö koostuu kolmesta kokonaisuudesta, joista ensimmäinen käsittelee asiakasräätelöivien tuotteiden kokoonpanorakenteita konepajateollisuuden investointilaitteita valmistavassa yrityksessä. Toisessa kokonaisuudessa selvitetään kohdeyrityksessä käytettävän PLM-ohjelmiston soveltuvuutta konfigurointityökaluksi. Viimeinen osio käsittelee pääkokoonpanon hallintaa CAD-ympäristössä. Ensimmäinen kokonaisuus on enemmän teoriapainotteinen, kun taas sitä seuraavissa luvuissa tärkein huomio kiinnittyy kyseessä olevan ohjelmiston suorituskyvyn kartoittamiseen. Tarkoitus oli selvittää, onko näissä ohjelmistoissa olemassa sellaisia piileviä, tuotekehitystoimintaa tehostavia ominaisuuksia, joita ei ehkä ole vielä yrityksessä täysin osattu hyödyntää. Voitaisiko joitain tuoterakenteiden hallintaan liittyviä tehtäviä, mitä tällä hetkellä suoritetaan jollain toisella ohjelmistolla, siirtää suoritettavaksi yrityksessä käytössä olevan PLM-ohjelmiston avulla? Tällöin välttyttäisiin tiedonsiirrolta useiden yksittäisten ohjelmistojen välillä. Kohdeyrityksessä haluttaisiin tarkastella asiakastoimituksen yksilöllisiä tuoterakenteita nimenomaan Teamcenterissä. Rakenteiden tarkastelun pitäisi siis olla mahdollista ilman ERP-järjestelmään tehtävää siirtoa. Pääkokoonpanon esittämisessä CAD-ympäristössä on rajoittavana tekijänä tyypillisesti ollut tietokoneiden riittämätön laskentateho suuria kokoonpanoja käsiteltäessä.

Uusimmissa CAD-ohjelmistoissa tämän ongelman ratkaisemiseksi on viimevuosina ilmaantunut työkaluja, joiden avulla suurten kokoonpanojen aiheuttamaa laskentakuormitusta voidaan vähentää. Näiden työkalujen toimivuutta oli tässä työssä myös tarkoitus testata.

4 TUOTERAKENTEET ASIAKASRÄÄTÄLÖIDYISSÄ TUOTTEISSA

4.1 Johdanto

Menestymismahdollisuuksiensa parantamiseksi monet yritykset tarjoavat asiakkailleen tuotteita, jotka räätälöidään täysin asiakkaan tarpeiden mukaan. Tuotteen rakenteeseen on valittavissa monia eri variantteja ja optioita, joilla voidaan vaikuttaa koneen tai laitteen suorituskyykyyn. Tällöin asiakas maksaa ainoastaan niistä ominaisuuksista, joita hän tuotannossaan todella tarvitsee; puhutaan konfiguroitavasta, asiakasräätälöidystä tuotteesta. (Männistö ym. 1998, 1.) Asiakasräätälöity tuote eroaa projektiluonteisesta tuotteesta siten, että osat ja kokoonpanot, jotka muodostavat konfiguraation, on suunniteltu jo etukäteen toimiviksi keskenään, eivätkä vaadi tilauskohtaista suunnittelutyötä (Tiihonen & Soininen 1997, 4). Sääksvuoren & Immosen (2002, 52) mukaan asiakasräätälöitävässä tuotteessa pyritään hyödyntämään massaräätälöinnin periaatteita, joissa eri variaatioita muodostetaan esisuunniteltujen moduulien pohjalta ilman asiakaskohtaista lisäsuunnittelua. Tuotteen myynnissä käytetään apuna erityistä myyntikonfiguraattoria, jonka avulla asiakkaalle tarjottavan konfiguraation hinta voidaan määrittää nopeasti (Valli 2015). Myyntikonfiguroinnissa ei tosin olla niinkään kiinnostuneita tuotteen yksittäisistä komponenteista tai moduulien rakenteista, vaan enemmänkin tuotteen ominaisuuksista, hinnasta ja toimitusajasta (Peltonen ym. 2002, 82). Seuraavissa kappaleissa on kuitenkin tarkoitus keskittyä tuoterakenteisiin juuri niiden yksityiskohtaisella tasolla ja tutkia asiakasräätälöitävän tuotteen asettamia haasteita tuoterakenteiden laadintaan ja ylläpitoon. Luvussa keskitytään suunnittelun laatimaan tuoterakenteeseen, joka toimii usein myös pohjana laadittaessa rakenteesta muita näkymiä esimerkiksi myyntiä tai tuotannonohjausta varten. Suunnittelun tuoterakenne sisältää yksityiskohtaisen kuvauksen kaikista niistä kokoonpanoista ja osista, jotka tuotteen valmistamiseen tarvitaan. (Raharno & Martawirya 2012, 1.) Tuotteiden rakenteita on valmistavassa teollisuudessa tyypillisesti käsitelty ainoastaan kiinteiden osalistojen avulla, mikä on tarkoittanut sitä, että jokainen tuotteeseen lisättävä variantti on tuplannut ylläpidettävien osalistojen lukumäärän. Jos asiakasräätälöivät tuotteet sisältävät vaihtoehtoisia

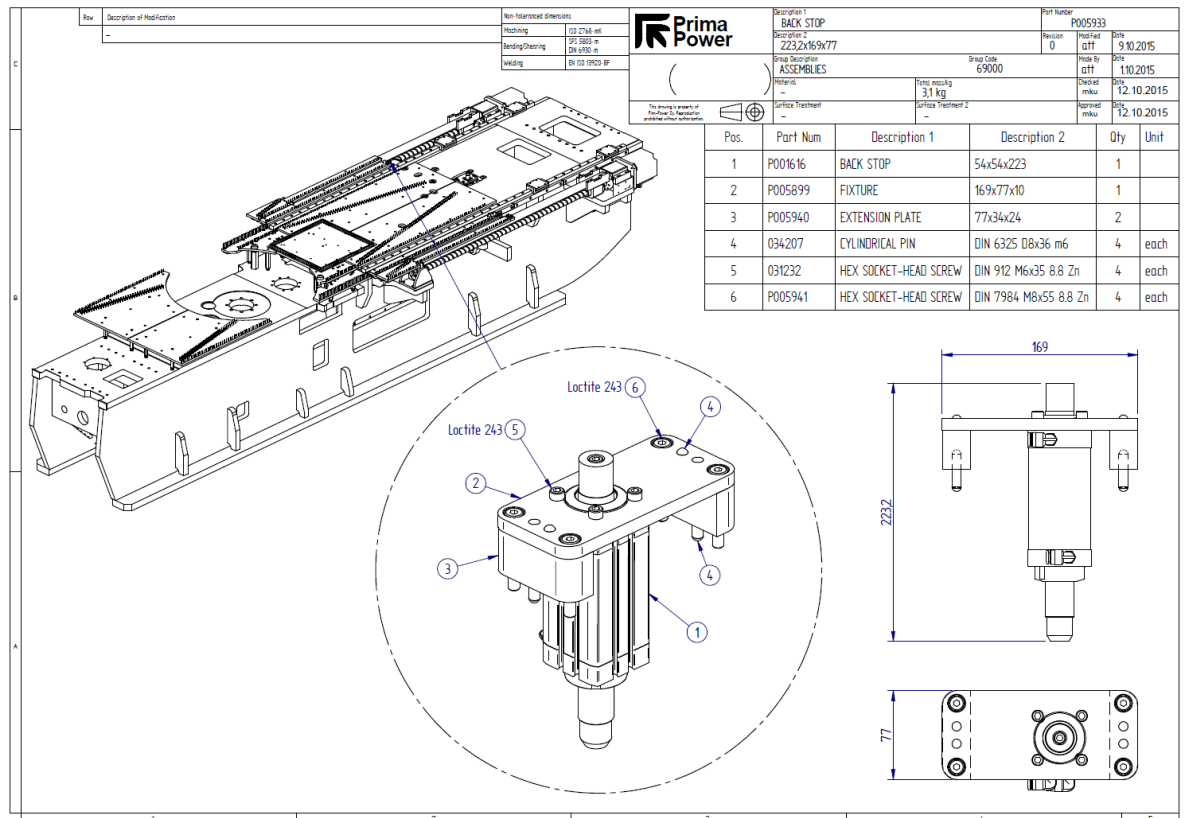
osia ja kokoonpanoja hyvin runsaasti, esimerkiksi useita kymmeniä, muodostuu haasteeksi mahdollisten konfiguraatioiden suuri lukumäärä. Tällöin yksittäisten, kiinteiden osalistojen ylläpitäminen muodostuu mahdottomaksi (Männistö ym. 1998, 1). Vaihtoehtona yksittäisille, kiinteille osalistoilta esitellään geneerinen tuoterakennemalli, jonka avulla kaikki tuotevariantit pystytään kuvaamaan samassa hierarkisessa rakenteessa. Näin tuotetiedon hallinta tehostuu ja konfiguraatioprosessissa tapahtuvat virheet vähenevät (Peltonen ym 1998, 5). Peltosen ym. (2002, 92) mukaan konfiguroitavien tuotteiden tehokas hallinta tarjoaa yritykselle ylivoimaisen kilpailuedun.

4.2 Tuotteen elinkaaren hallinta ja tuoterakenne

Tuoterakenteet muodostavat PLM -järjestelmän ytimen. Suuri osa sen toiminnoista perustuu tuoterakenteen ja nimikkeistön tehokkaaseen hyödyntämiseen. Tuotetiedon hallintajärjestelmän piirissä olevat nimikkeet kiinnitetään kuhunkin tuotteeseen ja toisiinsa juuri tuoterakenteen kautta. Se kertoo, miten PLM-ohjelmiston dataholvissa olevat nimikkeet kerätään ja järjestellään siten, että ne muodostavat lopullisen tuotteen. Yksityiskohtainen tuoterakenne sisältää tuotteen valmistamiseen tarvittavat nimikkeet ja niiden lukumäärät. (Sääksvuori & Immonen 2002, 51–57.) Sääksvuoren & Immosen (2002, 13) mukaan tuotetiedon hallinta (PDM) on systemaattinen, ohjattu menetelmä hallita ja kehittää teollisesti valmistettavaa tuotetta. PLM-järjestelmässä tiedon etsintää ja luokittelua helpotetaan luomalla kullekin nimikkeelle attribuutti-, eli aputietoa, joka kuvaa kutakin nimikettä ja auttaa järjestelmää tiedon jäsentämisessä. Samalla varmistetaan jo olemassa olevan tiedon käytön maksimointi ja estetään uusien nimikkeiden luonti turhaan. (Sääksvuori & Immonen 2002, 34.) PLM-järjestelmät tarjoavat siis hyvät työkalut esimerkiksi standardisaation ja modulaarisuuden toteuttamiseen.

4.3 Osaluettelo, *Bill of Materials, BOM*

Tuotetiedonhallintaohjelmistoissa ja kokoonpanopiirustuksissa esiintyy usein englanninkielinen lyhenne: BOM. Lyhenne tulee sanoista *Bill of Materials* (suom. osalista). Osalista sisältää kaikki nimikkeet, ja nimikkeiden lukumäärät, jotka tarvitaan valmiin tuotteen valmistamiseen. Osalista voi olla yksitasoinen taulukko kokoonpanopiirustuksen reunassa (ks. alla oleva kuva) tai hierarkinen rakenne tuotetiedonhallintaohjelmistossa. (Raharno & Martawiryä 2012, 1.) Riippuu asia yhteydestä, tarkoitetaanko termillä *BOM* valmistuksen käyttämää yksitasoista listaa tuotteen valmistamiseen tarvittavista komponenteista vai hierarkista tuoterakennetta PLM-ohjelmistossa (Sääksvuori & Immonen 2002, 17, 36). Suomenkielisiä termejä käytettäessä sekaannuksen vaaraa ei ole.



Kuva 3. Osalista piirustuksessa
(Prima Power, 2015)

Kuvassa 4 on esitetty yllä olevan piirustuksen osalista Teamcenterin Structure Managerissa. Siinä osalistan alikokoonpanot on mahdollista laajentaa näkyviin *expanded view* -komennolla, jolloin myös alikokoonpanoihin kuuluvia osia pääsee tarkastelemaan (Siemens PLM 2015). Tuoterakenne on tässä laajennettu

paineilmasyylinterin kokoonpanoa lukuunottamatta. Laajennettu näkymä tuo hyvin esiin tuoterakenteen hierarkisen struktuurin, jossa jokainen alikokoonpano tai osa kuuluu johonkin ylempää kokoonpanoon. Tällaisessa rakenteessa, jossa jokainen kokoonpanotaso edustaa joko ylä- tai alikokoonpanoa (eng. *parent item* tai *child item*) käytetään myös nimitystä tuotepuu (eng. *product tree*). (Raharno & Martawirya 2012, 1.) Laajennetusta osaluettelosta on mahdollista tarkastella kaikkia yksittäisiäkin osia, jotka tuotteen alikokoonpanojen valmistamiseen tarvitaan, eikä ainoastaan niitä kokoonpanoja tai osia, joista loppukokoonpano tehdään. PLM-ohjelmistojen avulla kokoonpanosta voidaan luoda hankintaprosessia varten juuri tällainen, täydellinen osalista, joka sisältää kaikki alikokoonpanot ja niiden rakentamiseen tarvittavat osat (Kantola 2015). Osalista voidaan käyttää myös tiedon etsimiseen PLM-järjestelmän tietokannasta: Jos päätason nimikenumero tiedetään, voi osaluettelon tasoja yksi kerrallaan laajentamalla päästä käsiksi siihen komponenttiin, jota halutaan tarkastella.

P005933/0;1-BACK STOP (View) - Latest Working - Date - "Now"

BOM Line	Find...	Revision	Precise	NO_ERP	ipd_bl_rev_master_x...
P005933/0;1-BACK STOP (View)		0	True		VASTE
[-] P001616/0;1-BACK STOP (View) x1	1	0	True		VASTE
[-] P001624/0;1-CYLINDER SET (View) x1	1	0	True		SYLINTERISETTI
[-] 031226/A;2-M6x10 DIN 912 x1	2	A	True		HEX SOCKET-HEAD ...
[-] 446203/B_001;1-ROLL - rulla (View) x1	3	B_001	True		RULLA
[-] 446207/B_001;1-SLIDE BEARING x1	4	B_001	True		LIUKULAAKERI
[-] P005899/0;1-FIXTURE (View) x1	2	0	True		KIINNIKE
[-] P005898/0;1-FIXTURE x1	1	0	True		KIINNIKE
[-] P005940/0;1-EXTENSION PLATE x2	3	0	True		KOROKELATTA
[-] 034207/A_001;1-D8x36 DIN 6325 CYLINDRICAL PIN - x4	4	A_001	True		LIERIÖSOKKA
[-] 031232/A;1-M6x35 DIN 912_ x4	5	A	True		KUUSIÖKOLORUUVI
[-] P005941/0_001;1-M8x30 DIN7984 x4	6	0_001	True		KUUSIÖKOLORUUVI

Kuva 4. Osalista Teamcenterin Structure Managerissa (Siemens PLM, 2015)

Kuvassa 4 BOM viittaa siis tietokantaan, jolla voidaan esittää osien ja kokoonpanojen väliset riippuvuus-suhteet. Kokoonpanon ja siihen liittyvien alikokoonpanojen välinen tasohierarkia on määritelty kokoonpanoa suunniteltaessa CAD-ohjelmistossa. (Sääksvuori & Immonen 2002, 36.) Kokoonpanon jaottelu tasoihin mahdollistaa sen, että yhden tason sulkeminen jättää pois myös kaikki sen alapuolelle liitetyt kokoonpanot alikokoonpanoineen ja osineen. Kokonaisen moduulin yksittäisten osien poistaminen osaluettelosta ei siis vaadi suurta työtä. (Sääksvuori & Immonen 2002, 51.) Rakenne laaditaan yleensä vastaamaan parhaiten valmistuksen asettamia vaatimuksia. Kokoonpanorakenteet

on muodostettu siten, että niistä tehtyjen kokoonpano- ja osapiirustusten perusteella tuote pystytään valmistamaan. Raharno & Martawirya (2012, 1) käyttää tällaisesta rakenteesta nimitystä *engineering BOM*, eli suunnittelun osalista. Sääksvuori & Immonen (2002, 37) käyttää samasta asiasta nimitystä *suunnittelun tuoterakenne*. Suunnittelun laatima tuoterakenne toimii yleensä pohjana, kun samasta kokoonpanosta halutaan johtaa erilaisia rakennenäkyymiä palvelemaan tilaus-toimitusprosessin muita vaiheita.

4.4 Osaluettelo varioituvassa tuotteessa

Osalistaa, joka ei sisällä yhtäkään varianttia, kutsutaan kiinteäksi osalistaksi (Peltonen ym. 2002, 81). Kiinteä osalista voi olla myös konfiguraatioprosessin lopputuote. Sen avulla tuote valmistetaan ja sen vuoksi listan on oltava täysin yksiselitteinen (Kantola 2015). Osalistan muodostaminen tuotteesta, jossa ei ole lainkaan variantteja, on hyvin yksinkertainen prosessi. Kun tuotteeseen tehdään muutoksia, koskevat ne vain yhtä, kiinteää osalistaa. Jos kokoonpano sen sijaan sisältää varioituvia osia, muodostuu yksittäisten, kiinteiden osalistojen käyttö haastavaksi. (Raharno & Martawirya 2012, 1.) Jokaisesta mahdollisesta tuotekonfiguraatiosta olisi tehtävä oma, yksilöllinen osaluettelonsa, jos ei käytetä konfiguroitavaa kokoonpanorakennetta. Tuotteen valmistamiseen tarvittavat osaluettelot vaativat ylläpitoa, koska kokoonpanon rakenne tai jotkin niissä esiintyvistä osista tulevat todennäköisesti jollain tavalla muuttumaan tuotteen elinkaaren aikana. Kun erilaisten kokoonpanomahdollisuuksien määrä on hyvin suuri, on mahdotonta laatia ja ylläpitää osaluetteloita ajantasalla jokaiselle mahdolliselle konfiguraatiolle. Jos tuotteen rakenteessa on esimerkiksi neljä tasoa, joissa kolmessa on valittavissa neljä varianttia, on mahdollisten konfiguraatioiden lukumäärä 4^3 eli 64 kpl. Jiao ym. (2000, 2) käyttää tällaisesta, konfiguraatioiden lukumäärän eksponentiaalisesta kasvusta englanninkielistä nimitystä *data explosion*. Chatras, Giard & Sali (2015, 2) mukaan jokaista tuoteyksilöä varten laaditut osalistat aiheuttavat myös konfiguraatioprosessissa ongelman: Jos jokaista tuotevariaatiota kohden on olemassa ainutlaatuinen osalista ja mahdollisten tuotevariaatioiden määrä on kymmeniä tuhansia, miten asiakkaalle pystytään näiden yksittäisten osalistojen joukosta määrittämään juuri se yksilö,

joka toteuttaa hänen vaatimuksensa? Yksittäisiä osalistoja hallittaessa tuotetaan myös tarpeettoman paljon samankaltaista tietoa, koska ero yksittäisten variaatioiden välillä saattaa olla hyvin pieni. Sama tieto on esitettyä eri rakenteissa samanlaisena lukemattomia kertoja. Tällaisesta päällekkäisen tiedon ylimäärästä käytetään englanninkielistä termiä: *data redundancy*. (Raharno & Martawirya 2012, 1). Käytännössä se tarkoittaisi esimerkiksi sitä, että jos tällaisia opinnäytetöitä olisi olemassa kaksi kappaletta, ja niissä olisi eroa yhden kirjaimen verran, varastoitaisiin ne kuitenkin erikseen ja ne kumpikin varaisivat yhtä paljon tallennustilaa. Perinteiset toiminnanohjausjärjestelmät tallentavat useimmiten ainoastaan edellä mainitun kaltaisia, kiinteitä tuoterakenteita, minkä vuoksi kaikkien tuoteperheen varianttien luetteleminen muodostuu jossain vaiheessa mahdottomaksi (Peltonen ym. 2002, 81).

4.5 Geneerinen tuoterakenne

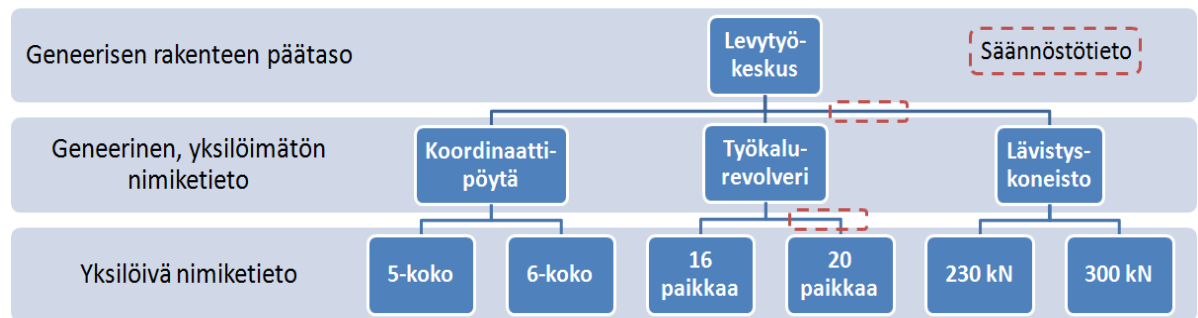
Tuhansien, kiinteiden osalistojen korvaajaksi on kehitetty geneerinen tuoterakenne (m. *tuoteperherakenne*). Siinä tuhansien tuotevarianttien joukko korvataan yhdellä tuoteperherakenteella, jossa kaikkien rakenteeseen kuuluvien komponenttien ja alikokoonpanojen väliset riippuvuus-suhteet on ennalta määritetty. (Peltonen ym. 2002, 81–82.) Peltonen ym. (1998, 4) mukaan geneerinen tuoterakenne koostuu kahdesta osasta. Ensimmäinen on eksplisiittinen tuoterakenne, joka sisältää ne komponentit ja kokoonpanot, joiden avulla voidaan muodostaa kaikki mahdolliset tuotevariantit. Eksplisiittinen tuoterakenne sisältää myös säännöstötietoa, joka määrittää nimiketietojen kytkeytymisen tuoterakenteesta luotaviin variantteihin (Jokela 2011). Säännöstötiedolla tarkoitetaan siis tuoterakenteen hierarkista struktuuria, joka erottaa sen yksitasoisesta osaluettelosta. Siemens PLM (2015) käyttää eksplisiittisestä tuoterakenteesta nimitystä *150 % BOM*, eli osalistaa tai -rakennetta, joka sisältää komponentteja enemmän, kuin lopullisen tuotteen valmistamiseen tarvitaan.

Toinen geneeriseen tuoterakenteeseen kuuluva ominaisuus on rajoitetiedot (eng. *constraints*), jotka määrittävät, mitkä mahdollisista tuotevarianteista ovat hyväksytyjä. Hyväksyntään voi vaikuttaa esimerkiksi konfiguraation

valmistettavuuden tekniset rajoitteet tai tuotteen hintapolitiikka, joka voi rajoittaa esimerkiksi kaikkein edullisimpaan perusratkaisuun saatavia lisävarusteita (Peltonen ym. 1998, 5). Rajoitetiedot on linkitetty suoraan konfiguraatioprosessin aikana esitettäviin kysymyksiin, jolloin yksi konfiguraattorin esittämä kysymys ja siihen annettu vastaus voivat vaikuttaa samalla kertaa tuoterakenteen useissa eri kohteissa (Männistö ym. 1996, 2).

Geneerisessä tuoterakenteessa olevat nimiketyypit voidaan jakaa kahteen luokkaan: abstrakteihin ja konkreettisiin (Peltonen ym. (1998, 8). Myös Jokela (2011) jakaa geneerisessä tuoterakenteessa olevat nimiketyypit abstrakteihin ja konkreettisiin, kuten Peltonen ym. (1998, 8), mutta käyttää asiasta eri termejä: yksilöimätöntä ja yksilöivää nimiketietoa. Jiao ym. (2000, 11) käyttää yksilöimättästä nimiketiedosta geneerisen tuoterakenteen nimeen viittaavaa englanninkielistä nimitystä *generic item*. Yksilöimätön nimiketieto jakaa tuotteen alikokoonpanotasoihin ja kuvaa nimikejoukkojen sijoittumista ja rajapintoja (Jokela 2011). Peltonen ym. (1998, 9) mukaan nimiketieto on yksilöimätöntä (abstraktia) niin kauan, kuin sen alapuolella on varioituvia rakenteita. Yksilöivä nimiketieto sen sijaan sisältää hyvin konkreettista tietoa, kuten kokoonpanon rakentamiseen tarvittavia komponentteja. Edellämainitusta johtuen yksilöivä nimiketieto on yleensä sijoittuneena tuoterakenteen alimpiin tasoihin. Yksilöivän nimiketyypin alenevassa polvessa ei ole mahdollista olla uutta, yksilöimätöntä rakennetasoa (Peltonen ym. 1998, 9).

Geneerinen tuoterakenne esitetään yleensä räjäytetyllä vuokaaviolla (eng. *graphical product explosion*) (Ramabhatta, Lin & Nagi 2003, 8). Alla olevassa kuvassa on asiaa havainnollistettu yksinkertaistetun levytyökeskuksen tuotemallin avulla: todellisessa tuoterakenteessa tasoja olisi huomattavasti enemmän. Kuvassa on esitetty myös edellisessä kappaleessa kuvattu jaottelu yksilöiviin ja yksilöimättömiin nimiketyyppeihin.

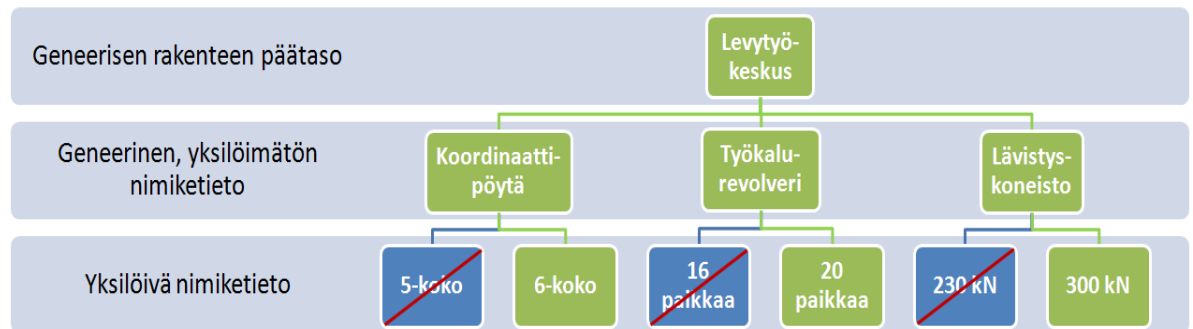


Kuvio 1. Geneerinen tuoterakenne
(Jokela 2011)

Kuvassa yksilöimätön (abstrakti) nimiketieto sisältää yleistä määrittelytietoa, kuten termin: *lävistyskoneisto*. Yksilöivä (konkreettinen) nimiketyyppi, lävistyskoneiston ensimmäinen aliluokka, *230 kN*, sisältää varsinaisia kokoonpanorakenteita niihin kuuluvine osineen ja alikokoonpanoineen. Geneerisen tuoterakenteen tarkoitus on ennen kaikkea tukea tuotteen konfigurointiprosessia. Se kuvaa tuoteperheen kaikki variantit ennalta laadittujen sääntöjen avulla. Tuotevarianttia ei tarvitse valita enää tuhansien, kiinteiden osalistojen joukosta, vaan se muodostetaan rakenteesta ennalta määriteltujen ehtojen avulla. Geneeristä tuoterakennetta voidaan siten kutsua myös konfigurointimalliksi. (Peltonen ym. 2002, 81–82.)

4.6 Geneerisen tuoterakenteen avulla tapahtuva konfigurointi

Geneeriseen tuoterakenteeseen laadittujen sääntöjen ja niihin linkitettyjen kysymysten avulla muodostetaan konfiguraatiotapahtumassa tuotevariantti, joka vastaa toimitus-spesifikaation vaatimukseen (Peltonen ym. 1998, 6). Konfigurointiprosessissa eksplisiittiseen rakenteeseen ei tuoda ainuttakaan objektia lisää; siitä ainoastaan karsitaan objekteja pois, jolloin päästään lopulliseen, konfiguroituun tuoterakenteeseen ja osalistaan, joka sisältää vain ne komponentit, jotka tuotteen valmistamiseen tarvitaan. Konfiguraation lopputuloksena on yksi, täydellinen osalista: 100 % BOM (Siemens PLM 2015). Seuraavassa kuvassa on esitetty edellisen luvun tuoterakenteesta laadittu konfiguraatio.



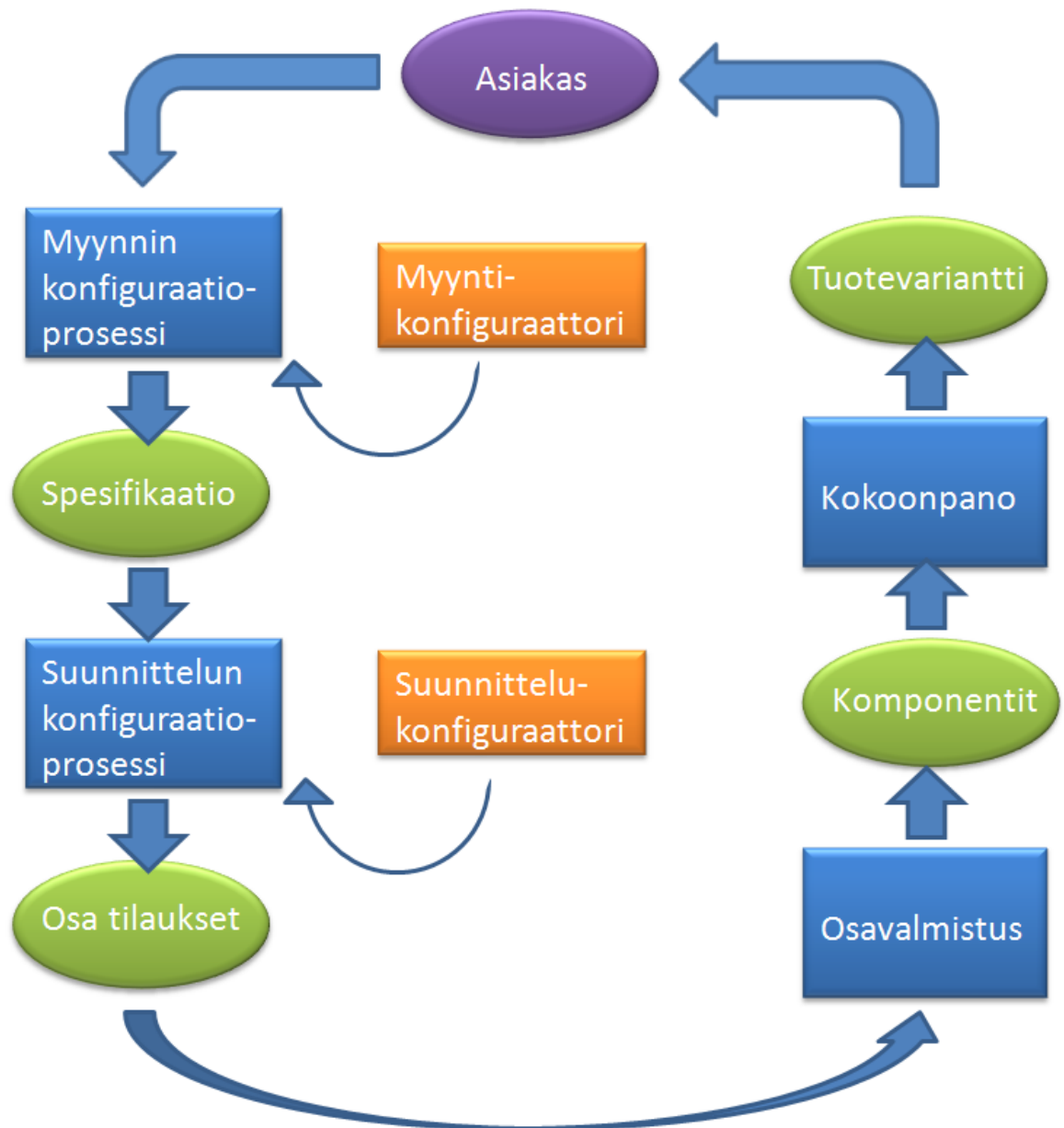
Kuvio 2. Konfiguraatio
(Jokela 2011)

Variantit, jotka on konfiguraatioprosessissa jätetty valitsematta, on yliviivattu ja muodostettu konfiguraatio on kuvattu vihreällä. Konfigurointimallissa olisi voinut olla esimerkiksi kolme vaihtoehtoista kysymystä, joiden otsikot kuvaavat yksilöimättömiä nimiketietoja ja vastaukset yksilöiviä: esim. "*Koordinaattipöytä: 5-koko vai 6-koko ?*". Toisaalta edellä esitetyn konfiguraation syntyminen olisi voitu myös estää laatimalla koordinaattipöydän ja työkalurevolverin välille ehto, joka olisi estänyt 6-kokoisen harjaspöydän liittämisen 20 -paikkaisen työkalurevolverin kanssa. Männistö ym. (1996, 2) mukaan tuoterakenteeseen liitetyt yksinkertaiset *ja* - *tai* (eng. *and* - *or*) -funktiot kuuluvat ns. eksplisiittisiin metodeihin (eng. *explicit method*). Varsinainen "äly" tuoterakenteeseen muodostetaan implisiittien metodien (eng. *implicit method*) avulla, joita ovat *jos* - *niin* (eng. *if* - *then*) -funktiot. Näillä voidaan estää sopimattomien konfiguraatioiden syntyminen ja yhden konfiguraatiossa esitettävän kysymyksen kattavuutta voidaan laajentaa koskemaan useita eri nimikkeitä (Männistö ym. 1996, 2). Kuten ensimmäisessä luvussa mainittiin, on levytyökeskuksen tapauksessa yksi monia nimikkeitä koskeva yleinen ehto, asennetaanko kone maahan, jossa on käytössä 50 Hz:n vai 60 Hz:n sähköverkko (Valli 2015). Tällöin ei ole mielekästä valita jokaisesta rakenneryhmästä erikseen komponentteja, jotka täyttävät jommankumman vaatimuksen, vaan ne kaikki olisi pyrittävä valitsemaan yhden kysymyksen avulla, joka on liitetty kaikkiin sitä koskeviin kokoonpanoihin. Peltosen ym. (1998, 5) mukaan on myös huomattavaa, että jokaiseen tuoterakenteeseen yhdistettyyn kysymykseen ei välttämättä tarvitse vastata jokaisen konfiguraatioprosessin yhteydessä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jotkin kysymykset aktivoidaan muihin kysymyksiin annettujen vastausten perusteella. Usein tällaiset lisäkysymykset voivat olla tarkennuksia laajempaan kysymykseen liittyen.

Männistön ym. (1998, 2) mukaan eksplisiittiseen rakenteeseen lisätyt rajoite-ehdot, eli syy-seuraus -suhteet tekevät siitä käytännössä implisiittisen mallin. Geneerisessä tuoterakenteessa voi edellä lueteltuja piirteitä olla sisällytettynä myös yhtäaikaan: sekä eksplisiittisiä, että implisiittisiä (Männistö ym. 1996, 2). Eksplisiittinen valinta voi kuvata esimerkiksi jotain muista kokoonpanoista riippumatonta optiota kun taas implisiittinen valinta sisältää myös muihin nimikkeisiin liittyviä ehtoja ja relaatioita.

4.7 Asiakasräätälöitävän tuotteen tilaus-toimitusprosessi

Asiakasräätälöitävän tuotteen konfigurointiprosessin käynnistää asiakkaalta saapuva tarjouspyyntö (Tiihonen ym. 1998, 3). Tarjouspyynnön ja sitä seuraavien mahdollisten neuvottelujen perusteella myyntiorganisaatio muodostaa asiakkaan tarpeisiin parhaiten sopivan konfiguraation. Myyntikonfiguraation lopputuloksena on myyntispesifikaatio, joka sisältää tiedot tuotteelta vaadituista teknisistä ominaisuuksista. (Valli 2015.) Myynnin tekemä spesifikaatio asettaa siis lähtötiedot yksityiskohtaisen konfiguraation laadintaprosessiin. Sitä voidaan kutsua myös suunnittelun käyttämän konfiguraattorin *input -dataksi* (Peltonen ym. 1998, 2). Kuten edellisessä kappaleessa mainittiin, saattaa spesifikaatiossa valittu yksittäinen ominaisuus vaikuttaa yksityiskohtaisessa suunnittelun tuoterakenteessa monessa eri kohtaa. Myyntikonfiguraattorilla tuotteelle konfiguroidaan niin sanottu myyntirakenne, eli käytännössä ominaisuusjoukko, joka määrää tuotteen teknisen rakenteen (Sääksvuori & Immonen 2002, 68). Varsinainen tuoterakenne konfiguraattori (m. suunnittelun konfiguraattori) käyttää suunnittelun tuoterakennetta ja sillä tehtävä konfiguraatio on yksityiskohtainen tuotevarianttirakenne, joka sisältää kaikki valmistamiseen tarvittavat osat ja kokoonpanot (Peltonen ym. 1998, 2). Alla olevassa kuviossa on esitetty asiakasräätälöitävän tuotteen tilaus-toimitusprosessi ja siihen liittyvät konfiguraatioprosessit.



Kuvio 3. Asiakasräätälöitävän tuotteen tilaus-toimitus prosessi (Tiihonen ym. 1998, 4)

Kuviosta nähdään, miten myyntikonfiguraattoria ja suunnittelukonfiguraattoria hyödynnetään prosessin eri vaiheissa. Tilaus-toimitus prosessin lopputuloksena on asiakkaalle toimitettava tuoteyksilö (Peltonen ym. 2002, 69).

Asiakasräätälöitäviä tuotteita valmistavan yrityksen on yleensä pystyttävä jälkikäteen selvittämään, millainen tuoteyksilö asiakkaalle on toimitettu (Peltonen ym. 2002, 84). Yksilökohtaisten rakenteiden tallentamisen ja ylläpidon tärkeys korostuvat erityisesti jälkimarkkinapalveluiden (After Sales) vaatimusten kasvaessa. Etenkin konepajateollisuuden investointilaittevalmistajat ovat

rakentaneet jälkimarkkinapalveluista oman liiketoiminta-alueensa, jonka merkitys kasvaa jatkuvasti. Huolto- ja varaosamyyntipalvelun tuottamiseksi on tuoteyksilökohtaista tietoa päästävä tarkastelemaan nopeasti. Puhutaan asennetun laitekannan tuntemisesta. (Sääksvuori & Immonen 2002, 36, 44.) Jotta asiakkaalle toimitettua tuotevarianttia pystyttäisiin täydentämään esimerkiksi toimitettujen varaosien tai lisävarusteiden mukaan, olisi geneerisen tuoterakenteen avulla laaditulle asiakaskonfiguraatiolle luotava oma, yksilöllinen nimikenumero jäljitettävyyttä varten. Jäljitettävyys (eng. *traceability*) on tärkeää myös silloin kun esimerkiksi tietyn komponentin valmistuserä havaitaan jälkeenpäin vialliseksi ja se on vaihdettava kaikkiin ko. komponentin sisältäviin tuoteyksilöihin (Peltonen ym. 2002, 77). Kun asiakaskohtainen tuoterakenne olisi tallennettu yrityksen PLM-järjestelmään, päästäisiin tuoteyksilön tietoja tarkastelemaan helposti. Jiao ym. (2000, 5) esittää, että materiaalivirtojen ja inventaarion hallitsemiseksi jokaiseen loppukokoonpanoon tilattuun konfiguroituun moduuliin olisi myös liitettävä yksilöllinen asiakastilausnumero. Tällöin jokainen alihankkijalta tilattava varioituva moduuli osattaisiin liittää oikeaan asiakastilaukseen kokoonpanolinjalla. Jokainen varianttikokoonpano olisi siis liitetty jo etukäteen kulloinkin kyseessä olevaan asiakastilaukseen ja ne näkyisivät loppukokoonpanossa käytettävällä työmääräimellä yksilöityinä tietoina. Jos konfiguroituja moduuleita tilataan varastoon ennusteen perusteella, jolloin niitä ei ole liitetty ennakkoon mihinkään asiakastilaukseen, täytyisi niillä olla pelkän yksilöimättömän nimikenumeron lisäksi kuvaus joka yksilöi kyseessä olevan variantin. Uuden asiakastilauksen saapuessa voidaan sille varata kuvauksen perusteella sopiva variantti varastossa olevista tai tilata uusi, jos varastosta ei sopivaa varianttia sillä hetkellä löydy.

4.8 Modulaarisuus konfiguroitavassa tuotteessa

Tiihosen ym. (1998, 3) mukaan modulaarinen suunnittelu on edellytys laadittaessa konfiguroitavaa tuoterakennetta. Modulaarisuuden pääajatus on se, että pystytään luomaan tuotevariantteja käyttämällä ennalta suunniteltuja moduuleita, joissa on tarkasti määritellyt rajapinnat (Österholm & Tuokko 2001, 8).

Tuoteperheen moduloimiseksi on ensin tunnistettava asiakastarpeet yksityiskohtaisella tasolla. Asiakastarpeet pyritään sen jälkeen muuttamaan strategisesti tärkeiksi tuoteominaisuuksiksi ja teknisiksi ratkaisuiksi. Sen jälkeen muodostetaan modulaariset konseptit, jotka arvioidaan ennen viimeisenä vaiheena käynnistettävää, varsinaista moduulikohtaista suunnittelua. Viidestä päävaiheesta koostuvaa prosessia kutsutaan *Modular Function Deployment* -, eli MFD -menetelmäksi. (Österholm & Tuokko 2001, 9–12.) Keskeisin osa prosessia on kolmas vaihe, eli moduulikohtaisten konseptien muodostaminen, jossa käytetään hyväksi niin kutsuttua moduulin osoitusmatriisia (eng. *Module Indication Matrix*). Siinä teknisiä ratkaisuja verrataan yrityksen strategiaan perustuviin tekijöihin, jotka ohjaavat modulointia. Osoitusmatriisin käyttöön ei tässä kuitenkaan syvennytä tarkemmin.

Ahoniemen ym. (2007, 44) mukaan tuotteen muodostavat moduulit voidaan jakaa kahteen ryhmään: perusmoduuleihin ja valinnaisiin moduuleihin. Perusmoduulit kuuluvat jokaiseen valmiiseen tuotteeseen konfiguraatiosta riippumatta ja ne muodostavat kyseisen tuoteperheen niin sanotun tuotealustan (eng. *product platform*). Varsinainen asiakasräätälöinti suoritetaan valinnaisten moduulien avulla ja ne yhdistetään tuotealustaan tarkoin määriteltujen rajapintojen kautta. Österholm & Tuokko (2001, 8–12) käyttää valinnaisista moduuleista nimitystä varianttimoduuli.

Simpson, Siddique & Jiao (2005, 6) mukaan yritys voi lähestyä tuoteperheen modulaarista suunnittelua kahdesta suunnasta: Ensimmäinen on ns. *Top Down* -menetelmä (suom. ylhäältä alas), jossa yritys kehittää uuden tuoteperheen konseptisuunnitteluvaiheessa tuotealustan, eli "*platformin*", josta johdetaan erilaisia tuotevariatteja siihen liitettävien moduulien avulla. Simpson ym. (2005, 6) käyttää tällaisesta lähestymistavasta nimitystä *proactive platform*, eli ennalta suunniteltu, proaktiivinen tuotealusta. Toinen tapa on ns. *Bottom Up* -menetelmä (suom. alhaalta ylös), jossa yritys muuttaa jo olemassa olevien, yksilöllisten tuotteiden rakenteita niin, että ne jakavat mahdollisimman paljon komponentteja keskenään ja niiden välille pystytään muodostamaan mahdollisesti yhteisiä, jaettuja moduuleita. Simpson ym. (2002, 6) käyttää lähestymistavasta nimitystä *reactive re-design*, eli reaktiivinen uudelleen suunnittelu. Sen päämääränä on

tuotevarianteissa käytettävien komponenttien standardisoinnilla ja yhteisten moduulien avulla saavutettu mittakaavaetu osa- ja kokoonpanovalmistuksessa. Millerin & Elgårdin (1998, 1) mukaan standardisaatiolla pyritään nimenomaan nimikemäärän vähentämiseen. Ahoniemi ym. (2007, 44) korostaa, että tuotealustan suunnitteluun on kiinnitettävä erityistä huomioita ja se on pyrittävä muodostamaan siten, että siihen tarvittaisiin jälkikäteen tehtäviä muutoksia mahdollisimman vähän.

Modulaarisen tuoterakenteen yhtenä etuna on, että tuotteen varioinnin vaikutukset pystytään rajaamaan yhteen moduuliin. Pääsääntöisesti yksittäisen moduulin tulisi toteuttaa jotain tiettyä toimintoa riippumatta muista moduuleista. Tällöin se mahdollistaa moduuleille toteutettavat, varsin itsenäiset suunnittelutehtävät sekä rinnakkain etenevät suunnitteluprojektit, koska eri moduulien väliset riippuvuussuhteet on minimoitu. (Miller & Elgård 1998, 9–10.) Myös Peltosen ym. (2002, 61) näkemys kokoonpanorakenteista tukee toiminnallisten moduulien suunnittelua. Sen mukaan tuoterakenteen muodostaminen "aitojen" osakokoonpanojen avulla on osoittautunut hyväksi ratkaisuksi. Kokoonpanolla on silloin seuraavat ominaisuudet:

- Kokoonpanoa voidaan käyttää useissa ylemmissä kokoonpanoissa ilman muutoksia
- Se on helposti käsiteltävä fyysinen kokonaisuus, eikä sisällä irrallisia osia
- Se voi olla toiminnallinen moduuli
- Sitä voidaan valmistaa ja varastoida itsenäisesti erillään ylemmän tason kokoonpanoprosesseista
- Se voidaan kiinnittää helposti suurempiin kokoonpanoihin
- Se soveltuu hyvin alihankintaan

Moduuli voi olla yhtä hyvin myös yksittäinen osa, jos se täyttää muutoin moduulin ominaisuudet. Huomioitavaa on, että jokainen alikokoonpano ei kuitenkaan automaattisesti ole moduuli. Usein alikokoonpano on kokoonpanosuunnittelun tulos, jolla pyritään ratkaisemaan monimutkaisen kokoonpanon tuotannossa aiheuttamat ongelmat. (Österholm & Tuokko 2001, 9.)

Ahoniemen ym. (2007, 41) mukaan tuote on käytännössä erittäin harvoin täysin modulaarinen. Moduuleissa saattaa olla mekaanisten rajapintojen lisäksi esimerkiksi sähkö- ja pneumatiikkajärjestelmien kytkentöjä, minkä vuoksi rajapintojen yhteenliittämiseen voi liittyä erilaisia tapauskohtaisesti ratkaistavia ongelmia tai muokkaustarpeita. Kohdeyrityksen tuotteessa, eli levytyökeskuksessa tilanne on juuri edelläkuvatusen kaltainen. Kokoonpano sisältää mekaniikan lisäksi sähkö- ja pneumatiikkajärjestelmiä, jotka eivät ole mekaanisten moduulien kanssa täysin yhteneväiset: vaikka samaa mekaniikkarakennetta voitaisiin periaatteessa hyödyntää levytyökeskuksen layoutissa useissa eri kohteissa, eivät esimerkiksi sähköjärjestelmät välttämättä salli yhtä joustavaa siirtelyä (Favorin 2015).

Tuotekonseptia laadittaessa on syytä kiinnittää huomiota siihen, että tuotteen mahdollisimman suuri varianttimoduulien lukumäärä ei saa olla itseisarvo. Asiakas ei ole kiinnostunut mahdollisten tuotevariaatioiden lukumäärästä, vaan haluaa omiin vaatimuksiinsa sopivan tuotteen mahdollisimman helposti. (Elgård & Miller 1998, 2.) Liiallisesta variaatioiden lukumäärästä saattaa seurauksena olla, vastoin yrityksen tavoitteita, niin sanottu massahämmennys (eng. *mass confusion*). Tämä tarkoittaa, että asiakas ei pysty enää erottamaan hänelle sopivaa tuotekonfiguraatiota valtavasta tuotevarianttien joukosta. Samalla asiakkaan luomis- ja määrittelyinto tukahdutetaan liian suurella tietomäärällä. (Ahoniemi ym. 2007, 25). Jos yksittäisille asiakkaille suunniteltuja tuoteominaisuuksia lisätään järjestelmällisesti uusiksi vakio-optioiksi, eikä vanhoja, vähän kysyttyjä optioita systemaattisesti karsita pois, kasvaa asiakkaalle tarjottavien optioiden ja tuotevariaatioiden määrä jatkuvasti. Ahoniemen ym. (2007, 52–53) mukaan ongelma on varsin yleinen suomalaisissa yrityksissä ja jos tuotantotapa on painotetun asiakaslähtöinen, on vaarana tuottaa suuria määriä täysin uniikkeja tuotevariaatioita, joiden todellista yksikköhintaa ei välttämättä tiedetä. Tällöin asiakastoimituksen hinta saatetaan arvioida myyntitilanteessa merkittävästi alakanttiin.

Vaikka tuotetiedon hallinnan ja tuotesuunnittelun kannalta on hyvä, että yksittäiset kokoonpanot on yhdistetty omaksi moduuliksi, ei myynnin kannalta tilanne välttämättä ole niin yksinkertainen. Erilaisten optioiden ja varianttien yhdistäminen yhdeksi ”paketiiksi” ei välttämättä tue myyntityötä. Myynnin kannalta voi olla

parempi, että myyjällä on mahdollisuus myydä koneeseen tulevat optiot asiakkaalle erikseen. Tämä antaa myyntitapahtumaan enemmän joustavuutta, kun yksittäisistä optioista voidaan neuvotella yksilökohtaisesti. (Valli 2015.) Kun optiot ovat erillisiä valintoja myyntikonfiguraattorissa, voidaan asiakkaalle räätälöidä ainutlaatuinen kokonaispaketti myytävästä tuotteesta. Lisäksi kokonaispaketin hinnoitteluun saadaan enemmän joustavuutta. Prima Powerin strateginen ratkaisu onkin ollut, että optioita on pyritty enemmänkin irrottamaan erilleen kokoonpanoista, kuin niputtamaan niitä yhteen. Yrityksen kilpailuvalttina voidaankin pitää mittavaa asiakasräätälöintiä, projektimaisia toimituksia ja yrityksen vahvaa sitoutumista asiakasprojektien läpiviemiseen. (Hauhtonen 2015.)

5 PÄÄKOKOONPANON HALLINTA TEAMCENTERISSÄ

5.1 Johdanto

Tässä luvussa kerrotaan, millaisia työkaluja Teamcenter tarjoaa asiakasräättälöivien tuotteiden tuotetiedon hallintaan. Teamcenterissä on olemassa muutamia ominaisuuksia, joiden avulla tuoterakenteiden hallintaa voidaan helpottaa. Näitä ovat esimerkiksi kokoonpanorakenteiden välillä tehtävät vertailut ja rakenteen muokkaaminen Structure Managerissa yksinkertaisia lisää, poista ja korvaa -komentoja käyttämällä. (Siemens PLM 2015.) Yrityksessä on tällä hetkellä käytössä monia eri tietojärjestelmiä, joissa käsitellään suunnilleen samaa tietoa, mutta hieman eri käyttötarkoituksessa. Tällainen tietojärjestelmien ja tietojen hajautuminen saattaa johtaa väärinkäsityksiin, jos tieto ei pysy jatkuvasti ajantasalla kaikissa sitä käyttävissä järjestelmissä. Tavoitteena on, että kaikki tuotetieto olisi esitetty yhdessä tai enintään muutamassa järjestelmässä ja ne palvelisivat samaan aikaan sekä hankinta-, myynti-, kokoonpano-, suunnittelu, että huolto-organisaatiota. Jos kaikki organisaatiot käyttäisivät samaa tuoterakennetta, välttyttäisiin päällekkäisyyksiltä esimerkiksi ohjelmistohankinnoissa ja varmistettaisiin, että kaikki organisaatiotahot käyttävät keskenään ns. "samaa kieltä", eikä väärinkäsityksiä pääse tapahtumaan. Mitä enemmän tehtäviä pystyttäisiin siirtämään yhden järjestelmän piiriin, sen parempi. (Hauhtonen 2015.)

Luvussa käydään läpi, miten Teamcenteriin laaditaan konfigurointimalli varianttien avulla. Ensin esitellään PLM-ohjelmiston rakennetta, sekä perusteluja sen käyttöön tuotetiedon hallinnassa. Sen jälkeen kerrotaan, miten varianttien avulla rakennetaan konfiguraatiomalli Teamcenterin Structure Manageriin. Lopuksi mainitaan Teamcenterin ja Structure Managerin toiminnallisuudessa havaituista puutteista, joiden johdosta varsinaisen levytyökeskuksen pääkokoonpanon konfiguraatiomallin muodostamisesta Teamcenteriin lopulta luovuttiin. Kohdeyrityksessä haluttaisiin tarkastella asiakastoimituksen rakenteita nimenomaan Teamcenterissä. Rakenteiden tarkastelun pitäisi siis olla mahdollista ilman ERP-järjestelmään siirtoa. Seuraavassa on listattu tuotekonfiguraattorilta vaaditut ominaisuudet kohdeyrityksessä:

- Yhden konfiguraatiossa esitetyn kysymyksen on voitava vaikuttaa yhtäaikaan monissa eri kokoonpanoissa huolimatta siitä, millä rakennetasoilla ne sijaitsevat
- Muodostettu asiakaskonfiguraatio on oltava mahdollista tallentaa PLM-järjestelmään yksilöllisenä tuoterakenteena
- Asiakaskonfiguraatiota on pystyttävä päivittämään myös tilaus-toimitusprosessin jälkeen
- Konfigurointiprosessi on pystyttävä suorittamaan ilman ERP -siirtoa

5.2 Perustelut tuotetiedon hallintajärjestelmän käyttöön

Valmistava teollisuus on viimeaikoina siirtynyt yhä enemmän kohti verkostotaloutta, jossa tuotetta valmistava yritys keskittyy omaan ydintoimintaan ja -osaamiseen. Ydinliiketoimintaan kuulumattomat alueet on ulkoistettu organisaation ulkopuolelle alihankintayrityksille, jotka omassa toiminnassaan ovat erikoistuneet johonkin kapeaan osa-alueeseen. (Sääksvuori & Immonen 2002, 28.) Alihankkijat toimittavat koneisiin yksittäisiä osia tai alikokoonpanoja, jotka yhdistetään toisiinsa loppukokoonpanolinjalla. Toimittajien erikoisosaamisalueita voivat olla esimerkiksi suurten kappaleiden koneistus, laserhitsaus, ohutlevyosat tai asennusvalmiit kokoonpanot, jotka sisältävät sekä mekaniikan, pneumatiikan että elektroniikan. Tällaisen toimittajaverkoston hallinta vaatii nopeaa ja virheetöntä tiedonsiirtoa ydintoimijan ja alihankkijan kesken. Tuotemuutokset on saatava aikaan nopeasti.

PLM-järjestelmä käsittelee usein erityisesti tuotesuunnittelun tuottamia tietoja ja rakenteita. Se ei yleensä ole tilaus- ja toimitusprosessiin liittyvien tietojen, kuten kustannusten, valmistus-aikojen tai materiaalivirtojen ensisijainen tallennuspaikka, vaikka tämän tyyppisiä tietoja voidaankin siirtää PLM-järjestelmään muista järjestelmistä. Suunnittelun lähdökohdista kehitetyn ohjelmiston piirteet näkyvät esimerkiksi erilaisina versiointi-, tarkastus- ja hyväksymiskäytäntöinä. (Peltonen ym. 2002, 9.) Ainakin toistaiseksi yritys kuitenkin tarvitsee myös ERP-järjestelmän, jolla hallitaan mm. tilaus-toimitus -prosessia. Työnjakoon PLM- ja ERP-järjestelmän välillä on kuitenkin syytä kiinnittää huomiota (Peltonen ym. 2002, 11).

Tämän opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena oli selvittää, voitaisiinko ERP-järjestelmässä tapahtuva tuotekonfigurointi siirtää suoritettavaksi PLM-järjestelmässä.

5.3 PLM-ohjelmiston järjestelmäarkkitehtuuri

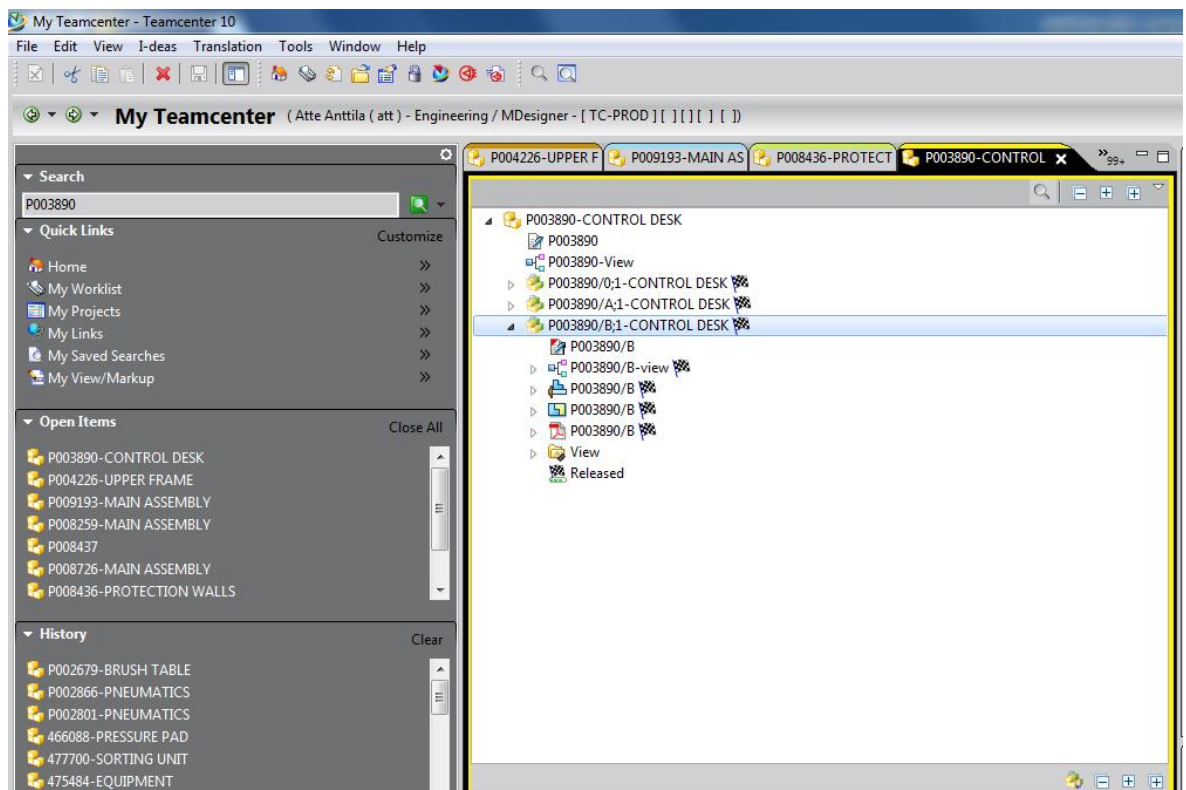
Immosen & Sääksvuoren (2002, 24) mukaan PLM-järjestelmän arkkitehtuuri voidaan jakaa kolmeen osaan. Ensimmäinen on dataholvi, jonne on tallennettu kaikki tiedostotyyppinen tuotetieto, kuten CAD-mallit ja -piirustukset. Toinen osa on ohjelmistosovellus (esim. Teamcenter), joka on järjestelmän varsinainen käyttöliittymä. Näiden kahden tason välissä toimii nk. metatietokanta (*meta-database*), joka tarvitaan ylläpitämään koko järjestelmän rakennetta. Se huolehtii yksittäisten tiedostojen välisistä suhteista, järjestelystä ja säännöistä. Ohjelmistosovellus ja metatietokanta yhdessä toteuttavat varsinaiseen tuotetiedon hallintaan liittyvät prosessit.

PLM-järjestelmä on rakennettu siten, että kaikki järjestelmää käyttävät voivat katsella muiden suunnittelutietoja, mutta kuitenkin vain yksi henkilö kerrallaan voi muokata tiettyä tiedostoa (Sääksvuori & Immonen 2002, 68). Tämä on toteutettu *check-in*, *check-out* -toiminnoilla, joita voidaan kutsua sisään- ja uloskuittaukseksi. Nimikkeen sisällön muuttamiseksi käyttäjä kuittaa tiedoston ulos PLM-järjestelmästä, jolloin sen nykyinen sisältö kopioituu käyttäjän oman työaseman välimuistiin. Kun tiedostoon on tehty tarvittavat muutokset, kuitataan se takaisin PLM-järjestelmään *check-in* -komennolla, jolloin käyttäjän muokkaama tiedosto siirretään järjestelmään nimikkeen uudeksi sisällöksi. (Peltonen ym. 2002, 49–50.) Kun nimike on jollain käyttäjällä *check-out* -tilassa, estetään samalla tiedoston samanaikainen muokkaus muilta käyttäjiltä. PLM-ohjelmistossa *check-out* -tilassa olevan nimikkeen perässä on yleensä lukko -symboli, sekä tieto siitä, millä käyttäjällä kyseessä oleva tiedosto on muokattavana. (Siemens PML 2015.) Kohdeyrityksessä käytössä oleva PLM-järjestelmä (Teamcenter) on kytketty suunnitteluohjelmistoon (Solid Edge) kaksisuuntaisella integraatiolla, mikä tarkoittaa, että tietoa siirtyy järjestelmien välillä kumpaankin suuntaan (Peltonen

ym. 2002, 108): Teamcenterissä voidaan tehdä muutoksia, jotka toistuvat Solid Edgessä ja päinvastoin.

5.4 Teamcenter

Teamcenter on Siemens PLM:n kehittämä tuotteen elinkaaren hallintaan tarkoitettu ohjelmisto (Siemens PLM 2015). Suomessa Siemensin ohjelmistotuotteiden, ml. Teamcenterin myynnistä ja tukipalveluista vastaa Ideal PLM. Useimmat PLM-järjestelmät, myös Teamcenter, on kehitetty vastaamaan parhaiten tuotesuunnittelun tarpeita, mikä näkyy siinä, kuinka ne tukevat erilaisia revisio-, tarkastus- ja hyväksymiskäytäntöjä (Peltonen ym. 2002, 9). Teamcenterissä nimikkeeseen liitettyjä tietueita kutsutaan dataseteiksi. Datasetti voi olla esimerkiksi CAD-malli tai siitä laadittu piirustus. Nimikkeen alle voidaan tallentaa useita datasettejä monissa eri tiedostomuodoissa. (Siemens PLM 2015.)



Kuva 5. Teamcenter –datasetit
(Siemens PLM, 2015)

Kuvassa 5 on esimerkki nimikkeestä. Teamcenter nimeää nimikkeet juoksevilla numeroinnilla. Tässä nimikkeen numero on P003890. Sen alla on kolme

datasettiä: Solid Edge –kokoonpano ja –piirustus, sekä piirustuksesta luotu PDF-tiedosto. Lisäksi nimikeen alta löytyy *ItemRevision Master* –tietue, jossa nimikkeen attribuuttitietoja voidaan tarkastella ja muuttaa, sekä *BOM View Revision* -tietue, jota klikkaamalla Teamcenter siirtyy Structure Manager –ympäristöön, jossa kokoonpanon rakennetta pääsee tarkastelemaan ja muokkaamaan. Yksittäisten nimikkeiden avulla muodostetaan suurempia kokonaisuuksia, eli kokoonpanoja. Yksi kokoonpanonimike voi sisältää satoja osanimikkeitä. (Siemens PLM 2015.) Mitään tietoa ei tallenneta yksittäisen tietokoneen kovalevylle, vaan kaikki tieto on yrityksen omalla serverillä, josta se on välittömästi kaikkien saatavilla.

5.5 Esimerkkejä PLM-järjestelmän toiminnoista

5.5.1 Osalistojen vertailu

Osaluetteloita käsittelevässä kokonaisuudessa kerrottiin, että Structure Managerissa osalistaa tarkastellaan hierarkisena rakenteena. Sen ominaisuuksiin kuuluu myös, että kahden yksittäisen osalistan välillä on mahdollista tehdä vertailuja. Ominaisuus on tarpeellinen, kun satoja nimikkeitä sisältävä kokoonpano revisioidaan ja halutaan varmistua tuoterakenteen virheettömyydestä uudessa revisiossa. Vertailun avulla voidaan nopeasti todentaa sellaiset kokoonpanorakenteen muutokset, joista ei ole mainintaa revisiotietokentässä. (Siemens PLM 2015.) Osalistojen välillä toteutettava vertailu on esitetty seuraavassa kuvassa.

The screenshot displays the Siemens Structure Manager interface. At the top, two BOM trees are visible: 'P003890/A1-CONTROL DESK (View) - Latest Working - Date - "Now"' and 'P003890/B1-CONTROL DESK (View) - Latest Working - Date - "Now"'. Below these, a 'BOM Compare Report - P003890/A1-CONTROL DESK (View) -> P003890/B1-CONTROL DESK (View)' is shown. The report includes columns for Item Id, Item Name, Find No, Rev, Qty, and Multifield Key Information. The report highlights changes between the two revisions, with some items marked as 'New' or 'Deleted'.

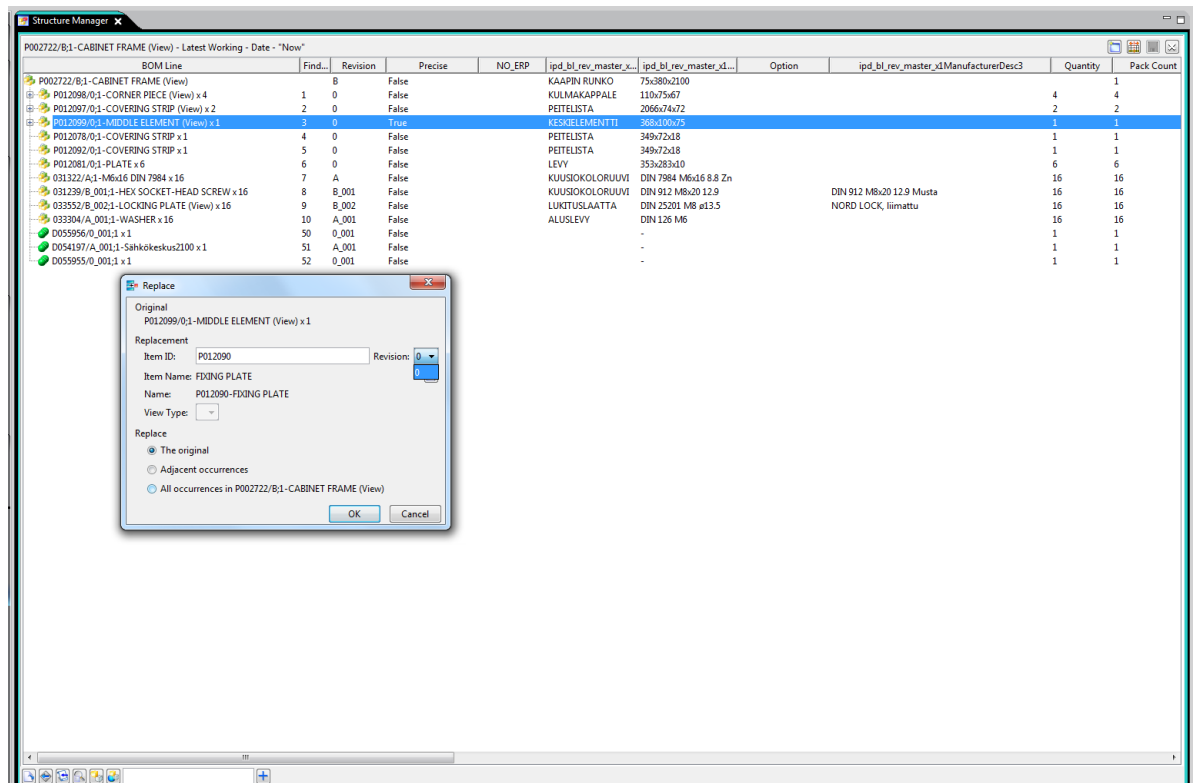
Item Id	Item Name	Find No	Rev	Qty	Multifield Key Information
P003890					
P003648	P003648	2	0->A	1	,item_id=P003648,object_type=Item
P003647	P003647	3	0->A	1	,item_id=P003647,object_type=Item
P002680	SHELF PLATE	5	0->A	1	,item_id=P002680,object_type=Item
P002516	REAR COVER PLATE	6	0->A	1	,item_id=P002516,object_type=Item
P002383	REAR COVER PLATE	7	0->A	1	,item_id=P002383,object_type=Item
P003765	SUPPORT CASING	9	0->A	1	,item_id=P003765,object_type=Item
P003767	REAR PLATE	10	0->A	1	,item_id=P003767,object_type=Item
P003753	SHELF	13	0->B	1	,item_id=P003753,object_type=Item
P003575	SHELF	14	0->A	1	,item_id=P003575,object_type=Item
P003779	CONTROL BOX	16	0->A	1	,item_id=P003779,object_type=Item
P002791	SIDE COVER PLATE	17	0->A	1	,item_id=P002791,object_type=Item
P002394	SIDE COVER PLATE	18	0->A	1	,item_id=P002394,object_type=Item
P002667	P002667	19	A->B	1	,item_id=P002667,object_type=Item
031402	Max10 DIN 7991...	23	A_001	4->16	,item_id=031402,object_type=Item
441108	RIVET NUT	25	B_001	50->52	,item_id=441108,object_type=Item
P005139	ASSEMBLY	30	()->0	0->1	,item_id=P005139,object_type=Item
488696	FILTER HOUSING	33	()->A_001	0->1	,item_id=488696,object_type=Item
P003858	SLIDE BAR	33	0->()	2->0	,item_id=P003858,object_type=Item
402957	LOCKING PLATE - M4 DIN 25201	34	B	19->23	,item_id=402957,object_type=Item
439404	HEX SOCKET-HEAD SCREW	35	B_001	19->23	,item_id=439404,object_type=Item
P004997	SLOT-HEADED SCREW	39	()->0	0->4	,item_id=P004997,object_type=Item
P004956	MAGNET	40	()->0	0->4	,item_id=P004956,object_type=Item
P004982	SLOT-HEADED SCREW	41	()->0	0->6	,item_id=P004982,object_type=Item
033101	CLASP NUT - M4 DIN985	42	()->A_001	0->16	,item_id=033101,object_type=Item
P005607	SELF-TAPPING SCREW	43	()->0	0->4	,item_id=P005607,object_type=Item
438011	MOUSE PAD	44	()->B_001	0->1	,item_id=438011,object_type=Item
P005875	MOUNTING PLATE	45	()->0	0->1	,item_id=P005875,object_type=Item
P005872	RUBBER MAT	46	()->0	0->1	,item_id=P005872,object_type=Item
Painlike-D006103	Buttons	1002	0_002->0_003	1	,item_id=Painlike-D006103,object...
D054804	D054804	1016	()->0_001	0->1	,item_id=D054804,object_type=Du...

Kuva 6. Kokoonpanorevisioiden vertailu Structure Managerissa (Siemens PLM 2015)

Vertailuikkuna on jaettu kolmeen osaan. Vasemmalla on kokoonpanon A -revision ja oikealla on uuden, B -revision osalista. Kokoonpanojen välillä on tapahtunut mm. revisiomuutoksia useiden osien ja alikokoonpanojen kesken. Muuttuneet revisiot on ilmoitettu keltaisella värillä. Alapuolella olevassa vertailuraportti - taulukossa on selitykset tapahtuneista muutoksista. Esimerkiksi rivillä 2 (*Find No* 2), nimike: sivutukilevy (side support plate) on revisioitu 0:sta A:han ja niitä on kokoonpanossa yksi kappale. Myös nimikkeiden lukumäärissä tapahtuneet muutokset näkyvät keltaisella värillä: esimerkiksi kuusiokoloruuvien lukumäärässä, rivillä 23, käytettävä revisio on pysynyt muuttumattomana, mutta lukumäärä on kasvanut 4:stä kuuteentoista kappaleeseen. Jos tuoterakenteesta jätetään jokin nimike kokonaan pois tai siihen lisätään uusi nimike, näkyy se vertailuikkunassa punaisella värillä korostettuna rivinä. (Siemens PLM 2015.)

5.5.2 Nimikkeen korvaaminen tuoterakenteessa

Jos uuden revision käyttöönottoa halutaan rajoittaa tai se otetaan käyttöön esimerkiksi vasta tiettyä ajanhetkenä, voidaan pääkokoontaan hallinnoida ns. *Precise* -rakenteena, jossa Structure Manager tallentaa rakenteessa esiintyvien nimikenumeroiden lisäksi tiedon niiden revisiosta. Uusi revisio voidaan ottaa käyttöön *Replace* -komennon (suom. korvaa) avulla. (Siemens PLM 2015.)



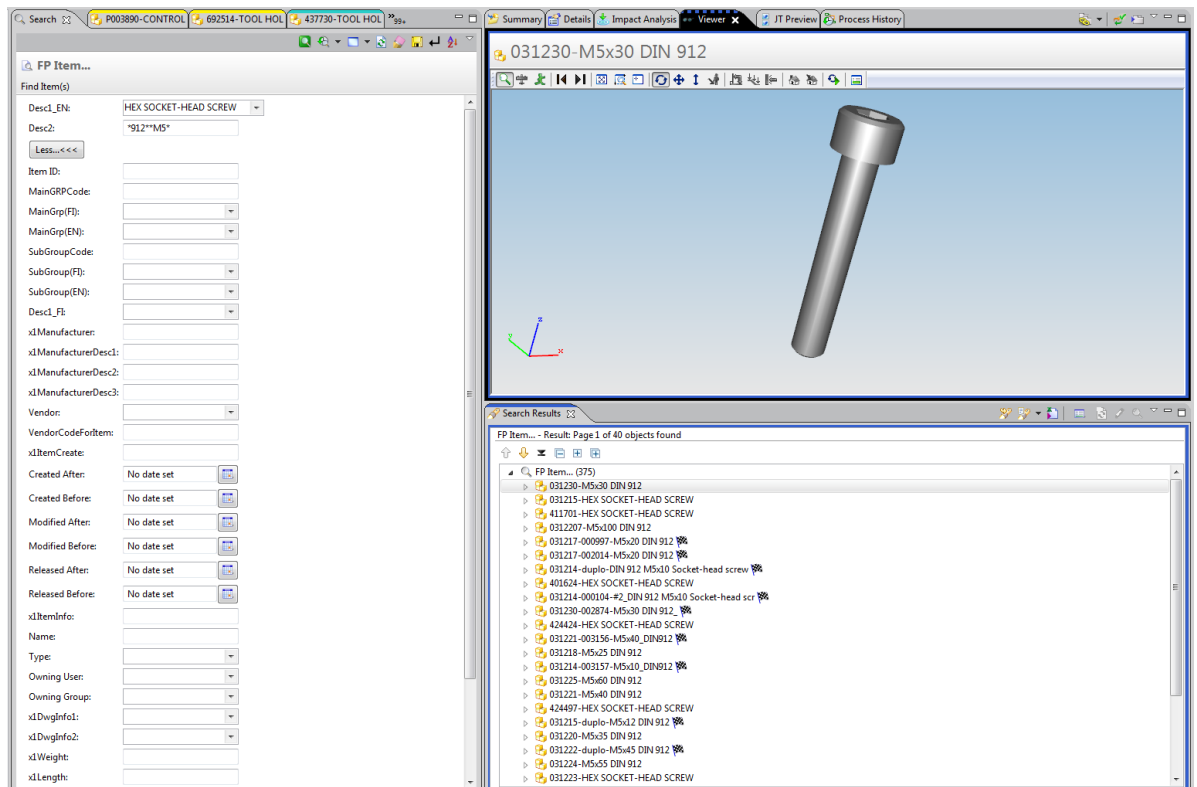
Kuva 7. Uuden nimikkeen käyttöön ottaminen *precise* -rakenteessa (Siemens PLM 2015)

Kuvassa 7 on esimerkki replace -komennon käytöstä Structure Managerissa. Tässä tapauksessa rakenteessa esiintyvä nimikkeen revisiota ei ole vaihdettu, vaan se on korvattu täysin uudella nimikkeellä. Komentoikkunassa voi myös määrittää, korvataanko uudella nimikkeellä tai revisiolla kaikki rakenteessa esiintyvät vanhan nimikkeen instanssit vai toteutetaanko muutos ainoastaan valitulla rivillä. (Siemens PLM 2015.)

5.5.3 Hakutoiminnot

Yksi PLM-järjestelmän etu tuotekehitystoiminnassa on sen avulla suoritettavat hakutoiminnot, joilla voidaan esimerkiksi selvittää, missä kokoonpanoissa muokattava nimike on käytössä. Tuotekehitystoiminnassa suunnittelijalle on ensiarvoisen tärkeää tietää, kun hän suunnittelee osaan tai kokoonpanoon tehtäviä muutoksia, että osa toimii halutulla tavalla myös muissa sitä käyttävissä rakenteissa siihen tehtyjen muutosten jälkeen. Teamcenterissä osan käyttöä muissa rakenteissa voi tarkastella "Where Used?" –hakutoiminnon avulla. Haun tuloksena ovat kaikki ne kokoonpanorakenteet, joissa ko. nimike on käytössä.

Toinen PLM-järjestelmän hakutoimintoihin liittyvä ominaisuus on attribuuttitietoihin liittyvä haku, jonka avulla suunnittelija voi hakea esimerkiksi vakiokiinnitystarvikkeiden nimikenumeroita (kuva 8)



Kuva 8. Attribuuttitietoihin pohjautuva nimikehaku Teamcenterissä (Siemens PLM 2015)

Kuvassa näkyy kaikki hakukentät, joiden avulla tarvittavaa nimikettä on mahdollista etsiä. Hakutietoja ovat mm. valmistajan tunnus, nimikkeen haltija, nimikkeen luonti- tai vapautuspäivämäärä, nimikkeen englannin tai

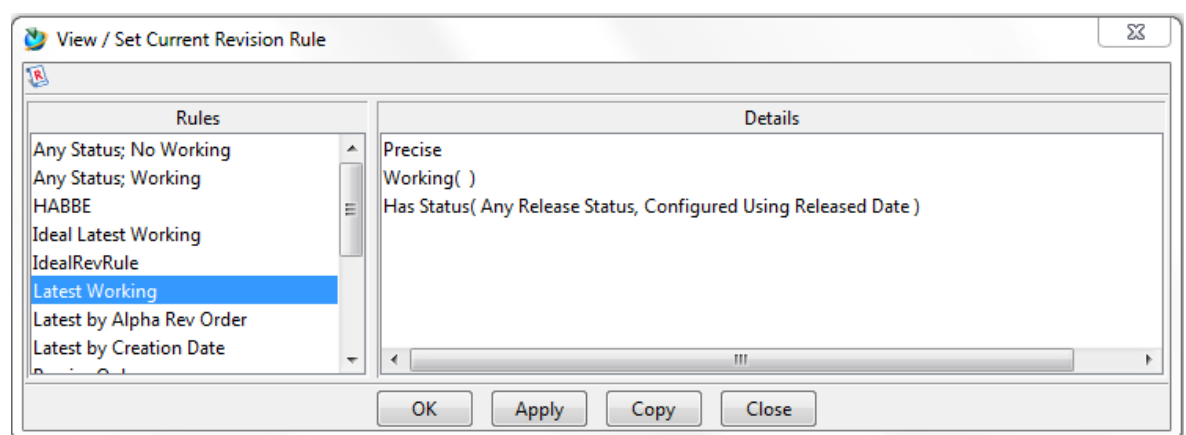
suomenkielinen nimitys jne. Tässä on käytetty hakuehtoina kahta attribuuttia. Ensimmäinen on Desc1_EN -tietokenttä, joka on nimikettä kuvaava englanninkielinen nimitys. Kaikki kohdeyrityksen nimikkeet nimetään yhteisen sanaston mukaan. Tässä tapauksessa on haettu kuusiokolo ruuvia: *HEX SOCKET HEAD SCREW*. Haku tulosten rajaamiseksi on käytetty Desc2 -tietokenttää, johon on kirjoitettu kuusiokoloruuvien standardiin viittaava numero: *912*, sekä kokoluokka: *M5*. Oikeassa alalaidassa näkyvät kaikki hakutulokset, joista on valittu ylimmäinen: *DIN 912 M5x30* -kuusiokoloruuvi. Ylemmässä ikkunassa näkyy nimikkeen esikatselukuva.

5.5.4 Revisiointi ja revisiosäännöt

PLM-järjestelmän piirissä olevien nimikkeiden hallintaan kuuluu olennaisena osana niiden revisiointi ja erilaiset revisiosäännöt, joiden avulla kokoonpanorakenteiden näkymiä ja osalistoja pystytään suodattamaan niihin perustuvien ehtojen avulla. Revisiionnin syitä saattavat olla esimerkiksi komponentin toimivuudessa tai valmistettavuudessa havaitut ongelmat. Revisiointi mahdollistaa sen, että nimikkeen ollessa käytössä kymmenissä eri kokoonpanoissa, ei uutta nimikerevisiota käyttöön otettaessa kaikkien sitä käyttävien rakennetasojen osalistoja tarvitse välttämättä päivittää, koska esimerkiksi kokoonpanon osalistalla komponenttien revisioita ei yleensä yksilöidä. Revisiot liittyvät siis nimikkeiden muutosten hallintaan. (Peltonen ym. 2002, 33, 62.) Kun käytössä olevaa nimikettä, esimerkiksi koneistettavaa osaa, tulee tarve muokata, luodaan siitä uusi revisio. Jos komponentit olisi yksilöity osaluettelossa revisiotunnuksin, pitäisi kokoonpanostakin tehdä aina uusi revisio, kun mikä tahansa siinä olevista osista muuttuu. Koska PLM-järjestelmässä tuoterakenteet ovat usein monitasoisia, aiheuttaisi rakenteen alimmalla tasolla tehty muutos ketjureaktion, jossa kaikki ylemmätkin kokoonpanotasot tulisi myös revisioida. Edellä mainitusta syystä osaluetteloissa ei käytetä revisiotunnisteita jolloin pelkkä nimikenumero viittaa aina kyseisen komponentin *efektiiviseen* revisioon. (Peltonen ym. 2002, 63.) Revision efektiivisyys voidaan määrittää suunnittelun muutosilmoitusta laadittaessa. Muutosilmoitus (eng. *Engineering Change Note*, ECN) sisältää tiedon uuden revision käyttöönotosta. Siinä kerrotaan, mitä

vanhoille revisioille tehdään, eli käytetäänkö ne loppuun ennen uusien revisioiden käyttöönottoa tai heitetäänkö pois ja onko aiemman revision toimivuudessa havaittu niin vakava puute, että se täytyy vaihtaa välittömästi uuteen revisioon esimerkiksi kaikkiin kokoonpanolinjalla oleviin koneisiin tai asiakkaalle asennettuun koneeseen seuraavan huollon yhteydessä (Peltonen ym. 2002, 74). Efektivisyys voi myös viitata esimerkiksi päivämäärään, jolloin uusi revisio otetaan tuotannossa käyttöön (Peltonen ym. 2002, 35). Revisioihin liittyy myös jäljitettävyyys, jota käsiteltiin luvussa 4.7 (s. 31). Asiakastoimituksesta on voitava nopeasti selvittää, mikä revisio osasta ko. laitetoimitukseen on asennettu (Peltonen ym. 2002, 77).

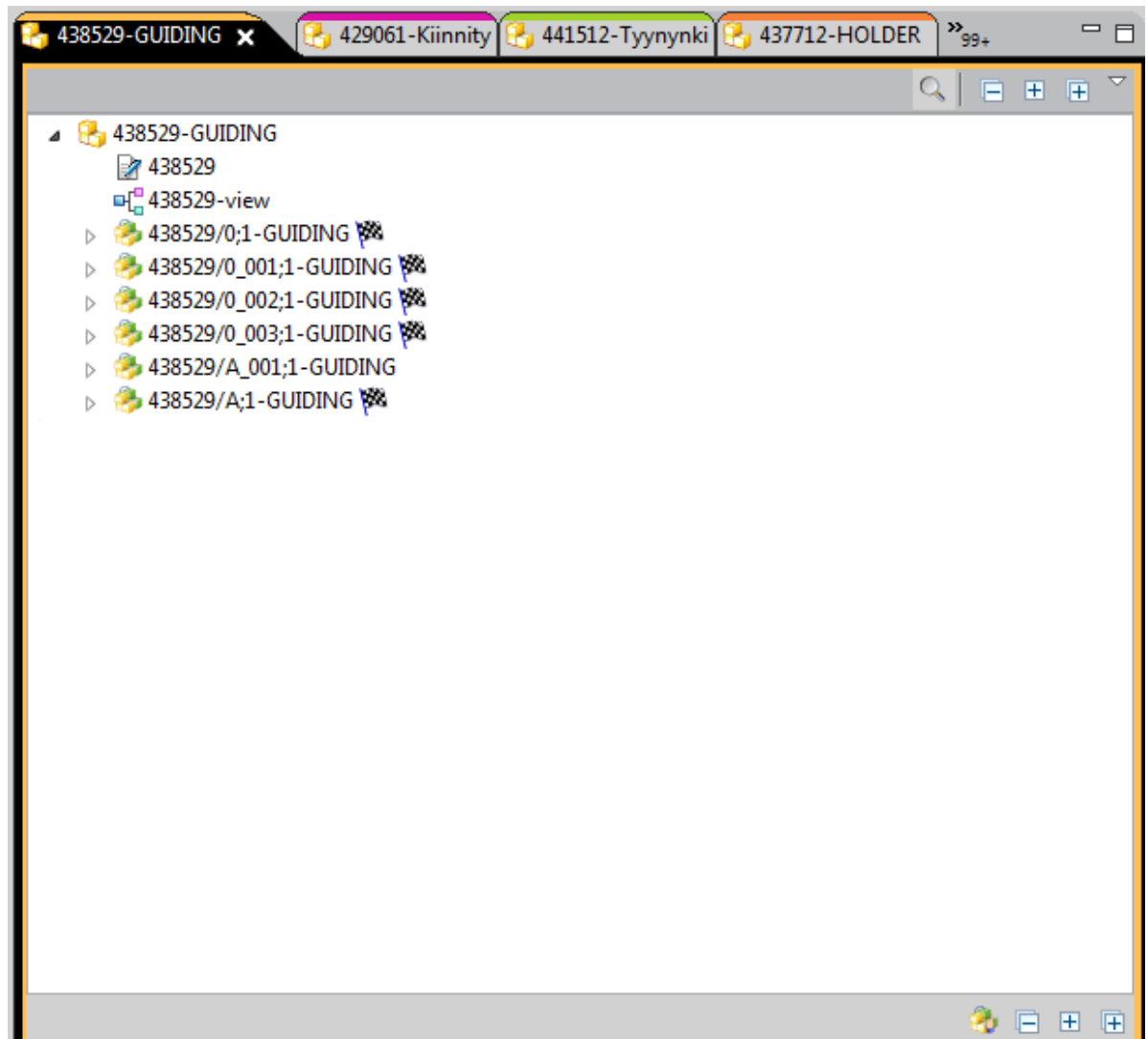
Revisiosäännöt liittyvät PLM-ohjelmiston tapaan valita kokoonpanoon tuotavia nimikerevisioita. Samaa kokoonpanorakennetta voidaan tarkastella erilaisten revisiosääntöjen kautta tuotekehitysprosessin eri vaiheissa. Keskeneräistä projektia voidaan tarkastella esimerkiksi revisiosäännöllä *Latest by Creation Date* ja valmista, tuotantoon vapautettua rakennetta *Released* -säännön avulla. (Siemens 2015). Hankinnassa käytetään aina revisiosääntöä *Released*, eli tuotantoon vapautettua komponenttia tai kokoonpanoa (Kantola 2015). Useat Teamcenterissä käytettävät revisiosäännöt on koottu yhdistelemällä useita määrittelyehtoja. Esimerkiksi revisiosääntö *Latest Working* (kuva 9) sisältää ehdot: *Precise, Working, Has Status*. (Siemens PLM 2015.)



Kuva 9. Revisiosääntö
(Siemens PLM 2015)

Revisioehtojen järjestys on määräävä, eli Teamcenter tutkii ensin, löytyykö nimikkeestä *Precise* -määritteen täyttävää revisiota. Jos ko. määrittelyehdon

toteuttava revisio löytyy, tuodaan se kokoonpanoon; jos ei, jatketaan nimikerevision hakua käyttämällä muita määrittelyehtoja siinä järjestyksessä, kuin ne on tietokentässä lueteltu (kuva 9). Kuvan 10 avulla selvitetään revisiosääntöjen vaikuttavuutta PLM-ohjelmistossa. Esimerkissä käytetään edellä esiteltyä revisiosääntöä: *Latest Working*.



Kuva 10. Revisiot
(Siemens PLM 2015)

Kuvassa näkyy esimerkki nimikkeestä, josta on olemassa useita revisioita. Revisiotunnus merkitään nimikenumeron loppuun: esim. 438529/**A;1**. Vapautetun revision tunnuksena on ruutulippu -symboli. Kohdeyrityksessä aiemmin käytetyn suunnitteluohjelmiston toiminnasta johtuen on useisiin nimikkeisiin muodostunut tarpeettomia revisioita ja lisäksi joidenkin vapautettujen revisioiden väliin on jäänyt vapauttamattomia revisioita, kuten kuvassa. Jos esimerkissä käytetyn nimikkeen

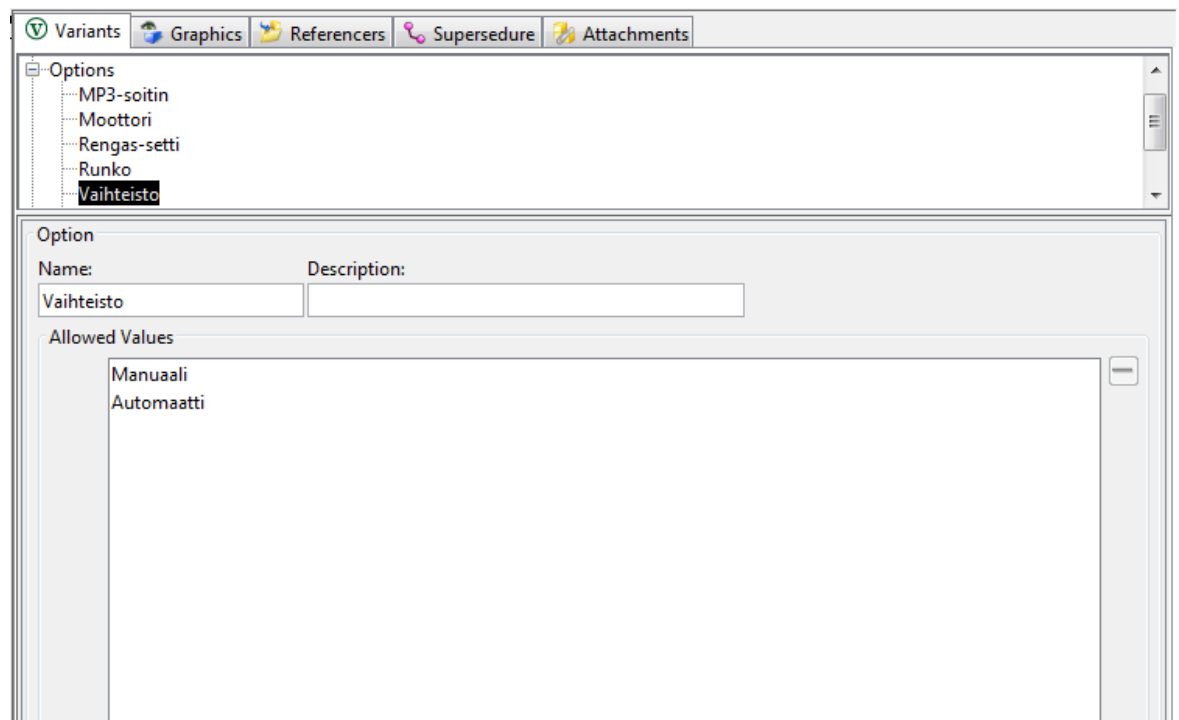
sisältävä kokoonpano avataan Solid Edgeen revisiosäännöllä *Latest Working* (suom. viimeinen keskeneräinen), ja revisio **A;1** ei täytä *Precise* -ehtoa, hakee Teamcenter kokoonpanoon nimikkeen revision **A_001;1**, koska se on ainoa revisio, joka täyttää järjestyksessä seuraavana olevan määrittelyehdon: *Working*. Hakutulos aiheuttaa tässä tapauksessa siis vanhentuneen komponenttirevision näkymisen kokoonpanossa. Kaikkein uusin revisio olisi jo käytössä oleva **A;1**. Edellä mainitun tilanteen välttämiseksi pyritään kohdeyrityksessä kokoonpanot avaamaan suunnittelutehtävän yhteydessä aina revisiosäännöllä *Latest by Creation Date*, jolloin Teamcenter hakee kokoonpanoon uusimmat nimikerevisiot huolimatta siitä, onko niitä vapautettu vai ei.

5.6 Asiakastoimituksen konfigurointi PLM-ohjelmistossa

Siemens PLM:n (2015) mukaan Structure Managerilla on myös mahdollista luoda rakenteeseen variantteja ja optioita. Tämä tapahtuu muodostamalla tuotteesta ensin eksplisiittinen tuoterakenne, josta konfigurointi tapahtuu poistamalla siitä ei-toivottuja nimikkeitä. Idea on siis hyvin samankaltainen, kuin geneerisessä tuoterakenteessa. Varianttirakenteiden käyttöä lähdettiin testaamaan hyvin yksinkertaisilla demo -kokoonpanoilla. Mallina on käytettiin kuvitteellisen auton konfiguraatorakennetta.

5.6.1 Varianttiehdon laatiminen

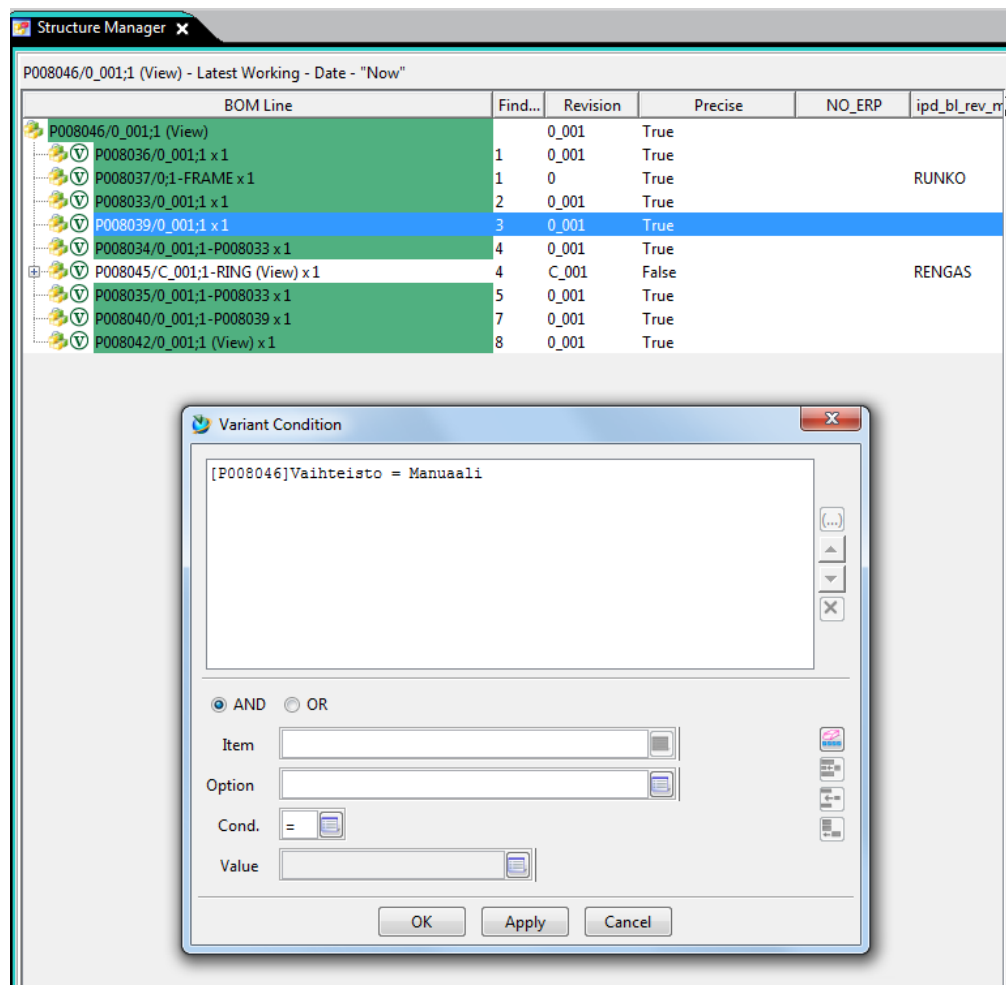
Varianttiehtojen laatiminen aloitetaan muodostamalla ensin optiolausekkeet. Lausekkeelle annetaan kuvaava nimi: esimerkiksi "vaihteisto". Sen jälkeen siihen lisätään vastausvaihtoehdot (eng. *allowed values*): "manuaali" ja "automaatti" (kuva 11). Lausetta laadittaessa valitaan nimike, johon se halutaan liittää. Teamcenter käyttää nimitystä *variant owning item* (suom. variantin omistava nimike). Tämä tarkoittaa, että varianttilause seuraa sen omistavan nimikkeen mukana sen ollessa käytössä muissakin kokoonpanorakenteissa. Ehtoa ei siis tarvitse muodostaa uudelleen jokaista konfiguraatiomallia kohti. (Siemens PLM 2015.)



Kuva 11. Varianttilause
(Siemens PLM 2015)

Varsinaiset varianttiehdot muodostetaan loogisten funktioiden avulla (kuva 12). Nimikkeen [P008046] omistaman varianttilauseen *vaihteisto* arvo *manuaali* liitetään nimikkeeseen [P008039]. Konfiguraatioprosessissa esitettävän kysymyksen ja nimikkeen välille on nyt luotu syy - seuraus -yhteys. Esimerkissä varianttilauseeseen on liitetty vain kaksi arvoa ("manuaali" ja "automaatti"), mutta niiden lukumäärää ei ole rajoitettu. Lisäksi varianttiehtoon voidaan sisällyttää *and*- ja *or* -funktioita. Niiden avulla samaan varianttiin voidaan sisällyttää useita ehtolauseita. *And* -funktioita (suom. ja) käyttämällä tulee kahden tai useamman ehdon täytyä variantin valitsemiseksi. *Or* -funktioilla (suom. tai) variantin valitsemiseksi riittää yhden ehdon tähtyminen monien joukosta. Funktioita yhdistelemällä voidaan laatia melko monimutkaisiakin logiikkalauseita. (Siemens PLM 2015.)

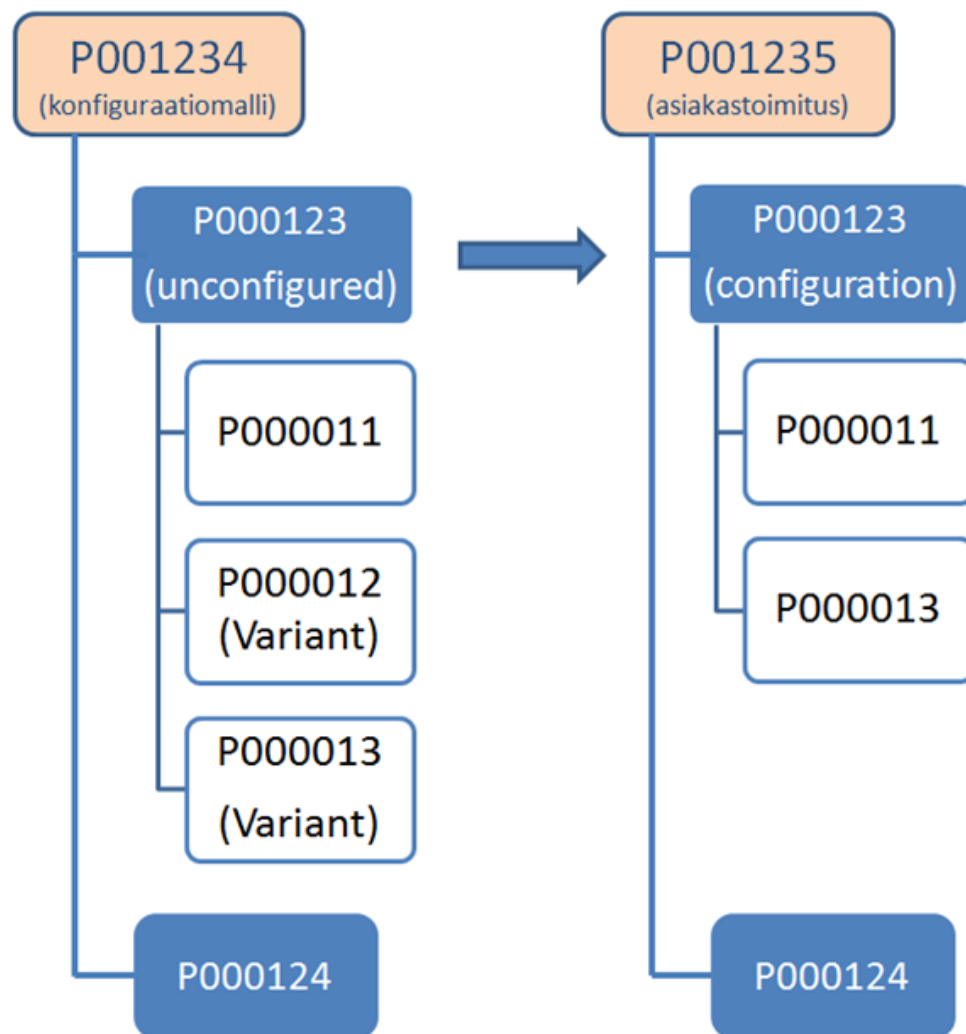
Konfiguraatorakenteeseen on mahdollista muodostaa myös loogisia ehtoja seuraavia hälytyksiä, joiden tarkoitus on estää sopimattomien konfiguraatioiden syntyminen. Se tarkoittaa, että variantteihin välille muodostetaan riippuvuussuhteita siten, että vain tietyt variantit sopivat keskenään yhteen. Hälytysilmoitus tulee ruutuun, kun sitä varten laaditut ehdot täyttyvät. (Siemens PLM 2015.)



Kuva 12. Varianttiehto
(Siemens PLM 2015)

Esimerkissä (kuva 12) käytetyn loogisen lauseen voisi suomentaa esimerkiksi näin: Nimikkeen *P008039* valitsemiseksi optiolausekkeen *vaihteisto* arvo on oltava *manuaali*. Kuvassa näkyy myös variantteja sisältävän kokoonpanorakenteen osalista Teamcenterin Structure Managerissa. Varianttien tunnuksena on V – symboli nimikenumeron edessä. Tässä tapauksessa kaikki kokoonpanon nimikkeet ovat poikkeuksellisesti variantteja. Varianttiehtojen avulla on mahdollista muodostaa sekä optioita, että vaihtoehtoisia rakenteita. Kun konfiguraatiomalli avataan seuraavan kerran Structure Managerissa, ilmestyy ruutuun konfiguraattoritaulukko, josta löytyvät kaikki laaditut varianttilauseet ja niiden vastausvaihtoehdot (kuva 13).

ympäristössä esimerkiksi toimitettujen varaosien ja lisävarusteiden mukaan. Tärkeää oli, että asiakaskohtainen konfiguraatio pystyttäisiin tallentamaan yksilöllisenä rakenteena ilman aikaa vievää ERP -siirtoa. Rakenteesta olisi oltava mahdollista muodostaa myös asiakaskohtainen varaosakirja, joka kuvaa juuri sitä tuoteyksilöä, joka asiakkaalle on toimitettu. Testausjakson aikana Teamcenterissä ei löydetty suoraa komentoa, jolla konfiguraation voisi irrottaa konfiguraatiomallia kuvaavasta rakenteesta. Kuvassa 14 on esitetty tavoiteltu tilanne, jota ei siis kuitenkaan pystytty toteuttamaan.



Kuva 14. Konfiguroinnin tavoite
(Prima Power 2015)

Teamcenterin konfiguraatorakennetta koskevaan ongelmaan yritettiin hakea ratkaisua Ideal PLM:n kanssa. He ehdottivat kaksi, ongelman kiertävää tapaa, mutta ne eivät ratkaisseet ongelmaa toivotulla tavalla. Ensimmäisessä

ehdotuksessa konfiguraatio saatiin tallennettua omalle nimikenumeralle, mutta konfigurointi ei silloin ulottunut tuoterakenteen alemmille tasoille, jolloin niissä sijaitsevia variantteja ei saatu konfiguroitua. Toisessa ratkaisuehdotuksessa konfiguroitu rakenne kloonattiin uudelle nimikkeelle. Tässä tavassa konfigurointi saatiin kattamaan koko tuoterakenteen, mutta tällöin Teamcenter generoi jokaiselle konfiguraatorakenteessa olevalle nimikkeelle uuden nimikenumeron. Tämä olisi vastannut todellisissa tuoterakenteissa kymmeniä tuhansia uusia nimikenumeroita jokaista asiakastoimitusta kohti! Se, että jokaista asiakastoimitusta varten generoitaisiin satoja, ellei tuhansia uusia nimikenumeroita on juuri päinvastoin, kuin geneerisen tuoterakenteen filosofia, eli päällekkäisen tiedon ylimäärän (*data redundancy*) vähentäminen (luku 4.4, s. 23). Samalla relaatiot alkuperäisiin, suunnittelun hallinnoimiin nimikkeisiin menetettäisiin, jolloin rakenteen ylläpito tai asiakkaan huolto- ja tukipalvelut olisivat mahdottomia toteuttaa. Toinen merkittävä ongelma varianttirakenteissa havaittiin, kun niiden avulla yritettiin luoda suunnittelun käyttämästä pääkokoontaanosta erilaisia konfiguraatioita helpottamaan suunnittelutyötä. Kun varianttien avulla konfiguroidun rakenteen avaa Solid Edgeen, menee se *read-only* -tilaan kaikki alikokoontaanot mukaan lukien. Tämä ei olisi toteuttanut sitä tavoitetta, jota yhteiseltä pääkokoontaanolta nimenomaan haettiin. Siemens PLM (2015) mukaan varianttikokoontaanota pystytään muokkaamaan Solid Edgessä ainoastaan ns. master -rakenteena, jolloin kaikki kokoonpanoon kuuluvat variantit ovat ruudulla näkyvissä. Edellä lueteltujen puutteiden vuoksi kohdeyrityksessä tultiin siihen johtopäätökseen, että PLM-järjestelmän konfigurointiympäristön toimivuus ei ole vielä sillä tasolla, että sitä voisi hyödyntää tuotekonfiguroinnissa kohdeyrityksen asettamien vaatimusten mukaisesti. Jos konfiguroitua toimitusrakennetta ei pystytä tarkastelmaan Teamcenterissä, ei ohjelmaan rakennetulla konfiguraattorilla ole mielekästä käyttötarkoitusta, koska valmiiden tuoterakenteiden siirrot ERP-järjestelmään ovat tyypillisesti kestäneet noin vuorokauden mittaisen ajan. Yhtä hyvin konfiguraattorin voi rakentaa ERP-järjestelmään. Kummassakin järjestelmässä konfiguraattorin rakentamiseen vaadittava työmäärä on suunnilleen sama, mutta ERP:ssä konfiguraatiota pystytään hallitsemaan myös jälkikäteen (Kantola 2015). Teamcenterissä on olemassa hyvin vahvoja ominaisuuksia, joilla tuotetiedon hallintaa voidaan tehostaa ja nähtäväksi jää, saadaanko järjestelmään uusia työkaluja seuraavien

ohjelmistoversioiden yhteydessä, jolloin sitä voitaisiin hyödyntää paremmin myös konfiguraatioiden hallinnassa.

6 PÄÄKOKOONPANON HALLINTA SOLID EDGE:SSÄ

6.1 Johdanto

Mekaniikkasuunnittelun työtehtävät voidaan jakaa kahteen kategoriaan: uuden tuotteen kehitystehtäviin ja ylläpitosuunnitteluun. Ylläpitosuunnittelusta esimerkkinä voidaan pitää tehtävää, jossa on tarkoitus luoda uudet kiinnikkeet levyn paikoitukseen tarkoitetuille vasteille (kuva 3, s. 22). Vasteet toimivat paineilmasylintereiden avulla, jotka päätetään vaihtaa uudempaan malliin vanhan poistuessa toimittajan valikoimasta. Uusi sylinteri ei kuitenkaan sovi samoihin kiinnikkeisiin kuin vanha ja sen vuoksi sitä varten on luotava uudet kiinnikkeet. Vasteen toimivuus on kuitenkin pysyttävä muuttumattomana. Tässä tapauksessa suunnittelija voisi tehtävää aloittaessaan tarvita vastauksen seuraaviin kysymyksiin:

- Missä ja millä korkeudella nykyiset vasteet toimivat?
- Mikä on harjaslevyjen korkeus vasteiden kohdalla?
- Miten vasteet käyttäytyvät eri konerunkojen välillä?
- Mistä löytyvät oikeat 3D –mallit sekä vanhoille, että uusille vasteille?
- Onko olemassa valmista kokoonpanoa, mitä suunnittelussa voisi hyödyntää?

Tuotekehitysorganisaatioissa tuoteosaaminen on monesti hyvin paljon yksilöiden varassa. Tuotteeseen liittyvä tieto ja erityisosaaminen on hyvin henkilösidonnaista, eikä tietoa saada koko organisaation käyttöön helposti hallittavaksi ja jaettavaksi kokonaisuudeksi. Sen vuoksi oikean tuotetiedon etsimiseen tarvitaan tuotteen lanseeraus- ja ylläpitoaiheen aikana paljon turhaa työtä, eikä edellä esitetyn kaltaisiin kysymyksiin saada välittömästi vastausta. Jos suunnittelu aloitetaan puutteellisin tiedoin, saattaa se pahimmillaan johtaa virheisiin, joita joudutaan korjaamaan tuotannossa tai jopa asiakkaalla. Tällaisten ongelmatilanteiden selvittely vie paljon aikaa ja kuluttaa turhaan tuotekehitysorganisaation resursseja. (Sääksvuori & Immonen 2002, 103 - 104.)

6.2 Yhteinen pääkokoonpano tuotekehitysorganisaation apuna

Suurin syy edellisessä kappaleessa esitettyihin haasteisiin on yhteisen CAD-pääkokoonpanon puuttuminen, joka johtaa siihen, että kenelläkään ei ole kokonaiskäsitystä tuotteesta. Näin ollen edes suunnittelutiimin jäsenet eivät välttämättä osaa neuvoa toisiaan, koska jokaisella on niin kapea näkymä kokonaisuudesta. Tuotepäälliköillä saattaa kokonaiskäsitys olla, mutta he eivät useinkaan ole niin CAD tai PLM -orientoituneita, että osaisivat antaa suunnittelijalle niin yksityiskohtaisia tietoja, kuin hän tarvitsee. Sääksvuoren & Immosen (2002, 98) mukaan tuotetiedon hajanaisuus ja vaikea löydettävyyys voi johtaa siihen, että suunnittelijat alkavat perustaa omia arkistointitapojaan ja kehittelevät henkilökohtaisia oikoteitä tietonsa hallintaan. Pahimmillaan tilanne johtaa rapistuvan tiedon noidankehään ja yleiseen sähläykseen, joka ilmenee suunnitteluvirheinä. Sääksvuori & Immonen (2002, 99) viittaa myös Yhdysvaltalaisen tutkimusinstituutin jo vuonna 1994 tekemään tutkimukseen, jota voisi luonnehtia jonkinlaiseksi käsitteeksi nykypäivänkin tuotekehitysorganisaatiossa. Tutkimuksessa osoitettiin, että noin 30 prosenttia insinöörien työajasta kuluu tiedon etsimiseen, 20 prosenttia jo aiemmin tehdyn työn uudelleen tekemiseen ja 14 prosenttia erilaisissa kokouksissa, joiden perimmäinen tarkoitus on usein jakaa jonkin projektin kulloiseenkin tilaan liittyvää informaatiota. Ainoastaan 29 prosenttia työajasta käytetään varsinaiseen, lisäarvoa tuottavaan suunnittelutyöhön. Edellä mainittujen syiden vuoksi olisi hyvä, että yrityksen tuotteesta olisi olemassa yhteinen pääkokoonpano, jota jokainen suunnittelija voisi käyttää työssään apuna. Samalla hyödynnettäisiin paremmin PLM-järjestelmän tärkeimpiä, tuotekehitysorganisaatiolle mukanaan tuomia ominaisuuksia, jotka mahdollistavat mm. kaiken tyyppisen hukkatyön radikaalin vähentämisen sekä jo tehtyjen, laadukkaiksi ja hyväksi havaittujen ratkaisujen paremman hyödyntämisen (Sääksvuori & Immonen 2002, 99). Saatavilla oleva suunnittelutieto olisi kerätty yhteen paikkaan ja sen jatkuva päivittäminen takaisi tiedon oikeellisuuden tuotteen koko elinkaaren ajan koskien sekä tuotekehitystä, että ylläpitosuunnittelua.

6.3 Yksinkertaistettu kokoonpano ja sen muodostamistavat

Suurten pääkokoonpanojen käsittely suunnitteluohjelmistossa on tyypillisesti ollut haasteellista niiden tietokoneelle aiheuttaman suuren laskentakuormituksen takia. Kokoonpanon on saanut ehkä avattua tietokoneen näytölle, mutta se on hidastanut ohjelmiston toimintaa niin paljon, että sen käyttö ei ole ollut enää ollut mielekästä. Yrityksessä käytössä olevasta Solid Edge:stä löytyy suurten kokoonpanojen hallintaa varten muutamia toimintatapoja, joilla niiden käsiteltävyyttä CAD-ohjelmistossa voidaan parantaa. Näistä tärkein on "Simplified"-ympäristö (suom. yksinkertaistettu), jossa tietokoneen suorituskykykuormitusta voidaan alentaa yksinkertaistamalla käsiteltävää kokoonpanoa tai mallia.

6.3.1 Piirrepohjainen, *model*

Yksinkertaistetun kokoonpanon laatimiselle on olemassa kaksi vaihtoehtoista tapaa. Ensimmäinen on piirrepohjainen (*model*), jossa kokoonpanosta luodaan solid -malli, joka kuvaa kokoonpanon ulkonäköä ja tilavarausta. Malli tehdään käyttämällä yksinkertaisia geometriaobjekteja, kuten pursotuksia. (Siemens PLM 2015.) Jos yksinkertaistetulta kokoonpanolta kuitenkin edellytetään edes jonkin tasoista geometrista tarkkuutta, osoittautuu piirrepohjainen tapa hyvin hitaaksi. Yksinkertaisten "rautalanka" -mallien käyttö tuleeikin kyseeseen lähinnä vain silloin, kun kyseessä on esimerkiksi voimalaitoksen kokoinen kokoonpano. Tällöin kaikilta kokoonpanoilta ei välttämättä edellytetä suurta geometrista tarkkuutta, vaan riittää kun kyseessä olevien lohkojen tai moduulien päämitat tiedetään.

6.3.2 Osafilteröinti, *visible faces*

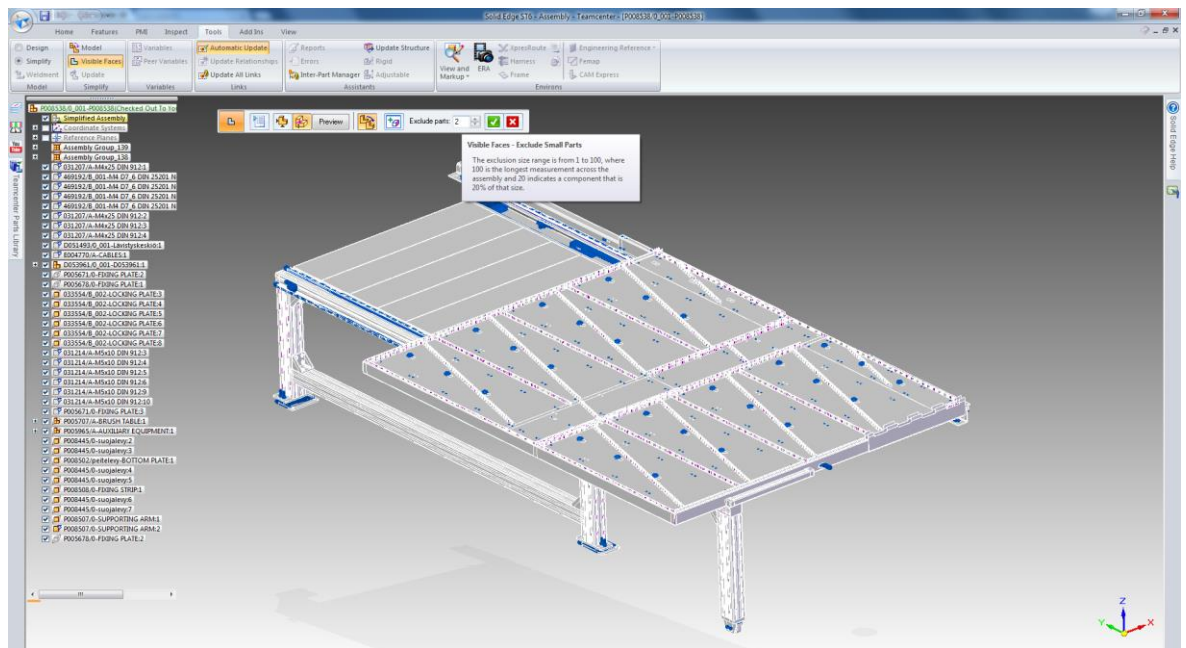
Toinen tapa yksinkertaistetun kokoonpanon luomiseen on käyttää osafilteröintiin perustuvaa ratkaisua, jossa kokoonpanosta poistetaan merkityksettömiä osia, kuten pieniä kiinnitystarvikkeita. Samalla kokoonpanoon ympärille luodaan yhtenäinen pintaverkko, joka kuvaa kokoonpanoon kuuluvat osat yksityiskohtaisella tasolla. Solid Edge:ssä tällaisesta tavasta käytetään nimitystä *visible faces*, eli näkyvät pinnat. (Siemens PLM 2015.) Levytyökeskuksen

pääkokoonpanoa varten valittiin käytettäväksi osafilteröintiin perustuva tapa, koska se voidaan muodostaa hyvin nopeasti heikentämättä kuitenkaan kokoonpanon yksityiskohtaisuutta.

6.4 Kokoonpanon yksinkertaistaminen osafilteröinnin avulla

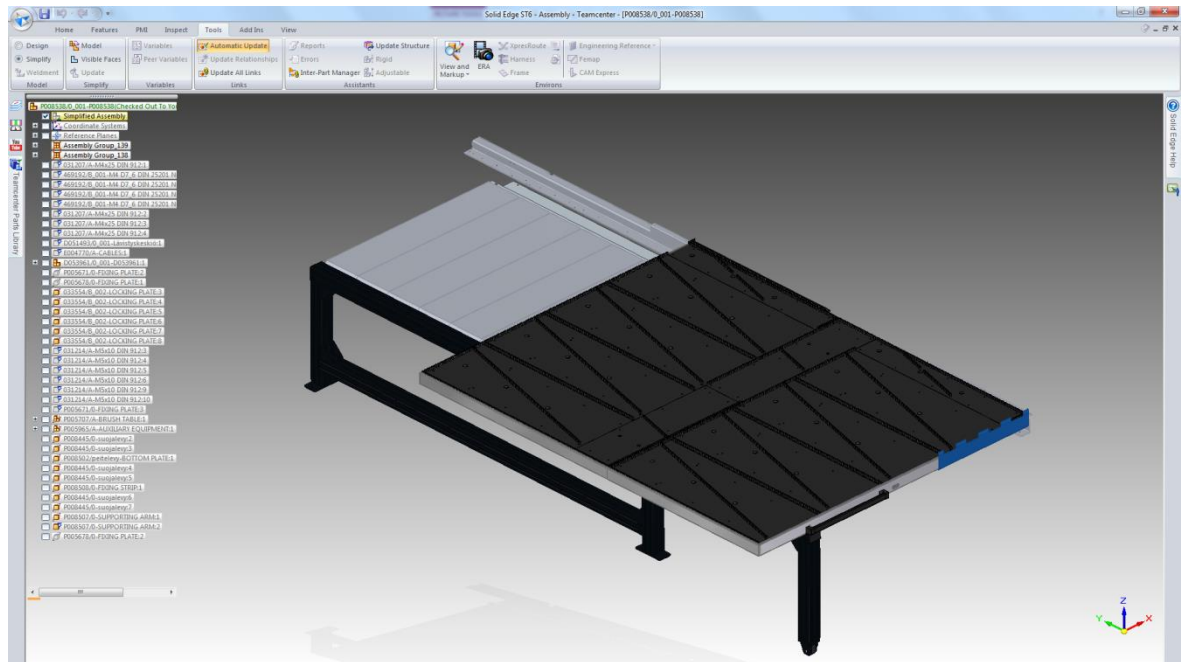
Kun pääkokoonpanoa rakennetaan, kannattaa yksinkertaistaminen toteuttaa niissä kokoonpanoissa, jotka muodostavat pääkokoonpanon. Simplified Assemblyä ei siis kannata luoda pääkokoonpanon ensimmäiselle tasolle, eli ns. master –tasolle. Syy on se, että pääkokoonpanotason yksinkertaistaminen ei nopeuta sen avautumista. Lisäksi ko. kokoonpanon täytyisi joka tapauksessa olla aina *designed* –tilassa, kun siihen halutaan tehdä muutoksia. Tällöin yksinkertaistetusta kokoonpanosta ei olisi mitään hyötyä, koska niiden käyttö perustuu nimenomaan siihen ajatukseen, että suunnittelijalla ei tarvitse olla jatkuvasti näkyvillä kaikkien kokoonpanojen täydellisiä malleja, vaan ainoastaan se kokoonpanon aktiivinen malli, johon hän on tekemässä muutoksia. Solid Edgessä on helppo vaihdella, onko näkyvissä yksittäisen kokoonpanon täydellinen vai yksinkertaistettu versio. (Siemens PLM 2015.)

Seuraavassa kuvassa on esimerkki yksinkertaistetun mallin luomisesta harjaspöytäkokoonpanolle osafilteröinnin avulla.



Kuva 15. Simplified Assemblyn luominen osafilteröinnin avulla (Siemens PLM 2015)

Kuvassa näkyy, miten Solid Edge poimii harjaspöytäkokoonpanosta poistettavia osia. Kun yksinkertaistettu malli muodostetaan, valitaan työkalulle käytettävä osafilterin koko. Se annetaan prosenttiarvona, joka kuvaa yksittäisen osan tilavuuden suhdetta suurimpaan kokoonpanossa esiintyvään osaan. Jos filterin kooksi määrätään esimerkiksi arvo 1, poistaa se kokoonpanosta kaikki ne osat, joiden tilavuus on pienempi, kuin 1 prosentti suurimman kokoonpanossa esiintyvän osan tilavuudesta. Poistettavat osat näkyvät kuvassa tumman sinisellä värillä ja kokoonpanon ympärille muodostettu pintaverkko valkoisella. Käyttäjä voi myös muokata laskentatuloksia valitsemalla poistettavaksi yksittäisiä haluamiaan osia, jotka ovat suurempia, kuin valitun filterin koko tai tuoda takaisin osia, jotka Solid Edge on laskenut poistettavaksi. (Siemens PLM 2015.) Valmis, yksinkertaistettu kokoonpanomoduuli on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Yksinkertaistettu kokoonpano
(Siemens PLM 2015)

Huomattavaa on se, että kaikkien kokoonpanoon jätettyjen osien ulkonäkö on pysynyt muuttumattomana. Kokoonpanon aiheuttama suorituskykykuormitus on kuitenkin pienentynyt merkittävästi. Osafilteröintityökalusta erityisen tehokkaan tekee se, ettei se huomioi, millä kokoonpanotasolla osat sijaitsevat. Ei haittaa, vaikka poistettavia osia sijaitseisi myös alikokoonpanojen sisällä. (Siemens PLM 2015.) Yksinkertaistettujen kokoonpanojen käyttämiseen riittää siis, kun ne muodostetaan pääkokoonpanoon tuotavien moduulien ylimmille tasoille. Näin ollen suunnittelija ei joudu käymään läpi kaikkia alikokoonpanotasoja laatiessaan kokoonpanosta yksinkertaistettua versiota. Tämä säästää aikaa huomattavasti.

6.5 Konfiguraatioiden hallinta Solid Edge:ssä

Saman pääkokoonpanonimikkeen avulla on voitava esittää levytyökeskuksesta useita eri konfiguraatioita esimerkiksi erikokoisten koordinaatti- ja harjaspöytien tai levytyökeskukseen liitettävien materiaalinhallintalaitteiden suhteen. Koska Teamcenterin varianttirakenteet avautuvat Solid Edgessä vain read-only -tilassa, päätettiin konfiguraatioiden hallitsemisessa käyttää Solid Edgen omaa *alternate assembly* -ominaisuutta (suom. vaihtoehtoinen kokoonpano). Siinä konfigurointi suoritetaan täysin suunnitteluohjelmiston avulla, eikä varianttien rakenteet

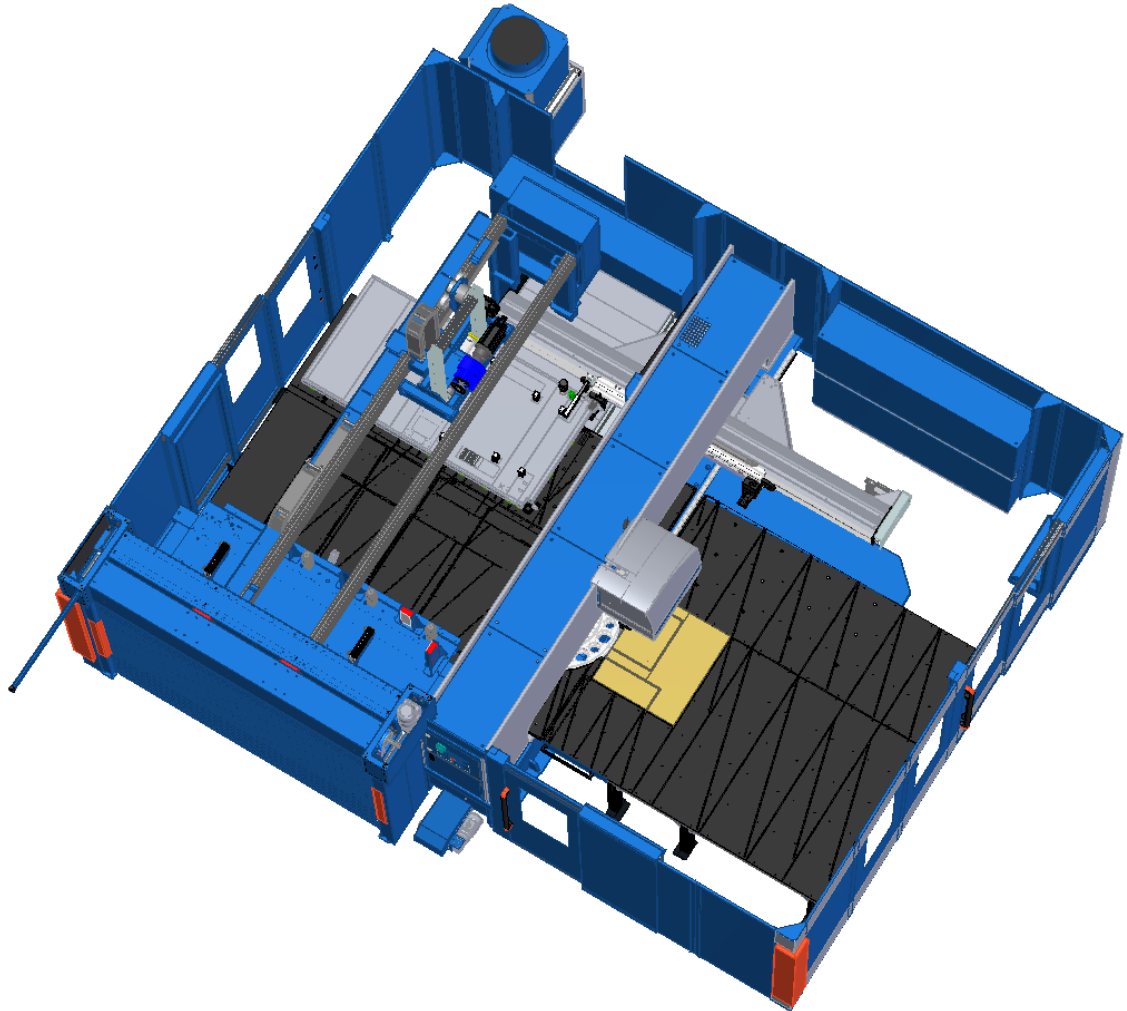
näyttäyty Teamcenterissä. Siellä pääkokoonpanolla on ainoastaan eksplisiittinen master -rakenne, josta suunnitteluohjelmiston avulla muodostetaan erilaisia näkymiä yksinkertaisten lisää - poista -menetelmien avulla. (Siemens PLM 2015.)

6.5.1 Alternate assembly

Alternate assembly -ominaisuutta käytetään yleensä kokoonpanoissa, jotka toteuttavat jotain tiettyä toimintoa tai jotka voidaan rakentaa useammalla eri tavalla. Peilikuvarakenteet (vasen ja oikea puoli) ovat hyvä esimerkki viimeksi mainitusta. Osien väliseen etäisyyteen tai asentoon liittyvää ominaisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi levytyökeskuksen suojaverkotuksien rakenteissa, joissa kahden pylväs -elementin muodostaman oviaukon leveys on varioituva. Alternate assemblyn ominaisuuksiin kuuluvat myös yksinkertaiset lisää - poista -rakenteet, joissa yksittäisiä alikokoonpanoja voidaan poistaa näkyvistä halutusta konfiguraatiosta. Suunnittelun pääkokoonpanoa muodostettaessa käytettiin tätä ominaisuutta. Kaikkia edellä lueteltuja ratkaisuja on mahdollista hyödyntää myös yhtä aikaa. (Siemens PML 2015.)

Vaihtoehtoisia konfiguraatioita sisältävän kokoonpanon ainoa heikkous on siinä, että samasta kokoonpanosta, jossa on käytetty *alternate assembly* -ominaisuutta, ei voida enää muodostaa *simplified assembly*:ä, joka voidaan muodostaa ainoastaan kokoonpanotasolle, joka ei ole varioituva. (Siemens PLM 2015) Tämä voidaan kuitenkin kiertää lisäämällä varioituvan rakenteen yläpuolelle yksi taso lisää, jos ko. kokoonpanosta halutaan luoda yksinkertaistettu malli. Näin levytyökeskuksen pääkokoonpanoa laadittaessakin meneteltiin. Seuraavassa kuvassa on näkymä vaihtoehtoisten kokoonpanojen muodostamisesta ja hallinnasta Solid Edgessä.

lisättäessä tai poistettaessa voidaan valita, koskevatko muutokset kaikkia vai ainoastaan näkyvillä olevaa konfiguraatiota. Näin vältetään samojen muutosten tekeminen moneen kertaan ja parannetaan kokoonpanon hallinnan tehokkuutta.



Kuva 18. Suunnittelun pääkokoonpano (Combi Genius)
(Prima Power 2015)

Jos koneen rakenteeseen, päätasolle lisätään jokin uusi moduuli, on päätason, eli master –nimikkeen oltava silloin ko. käyttäjällä checked-out –tilassa, että lisäys on mahdollinen. Ettei tämä rajoite muodostu ongelmaksi, tarvitaan suunnittelijoiden välistä kommunikaatiota. Sellainen henkilö, joka ei ole tekemässä päärakennetasolle muutoksia, voi avata kokoonpanon read-only –tilassa, jolloin hän ei estä toista suunnittelijaa tekemästä päätasolle muutoksia. Hyvä käytäntö on avata pääkokoonpano oletusarvoisesti aina read-only -tilassa, jolloin kokoonpanon avautumisaika lyhenee jonkin verran. Samalla estetään Solid Edgeä kuormittamasta välimuistia turhaan sellaisilla alikokoonpanoilla, joihin ei olla

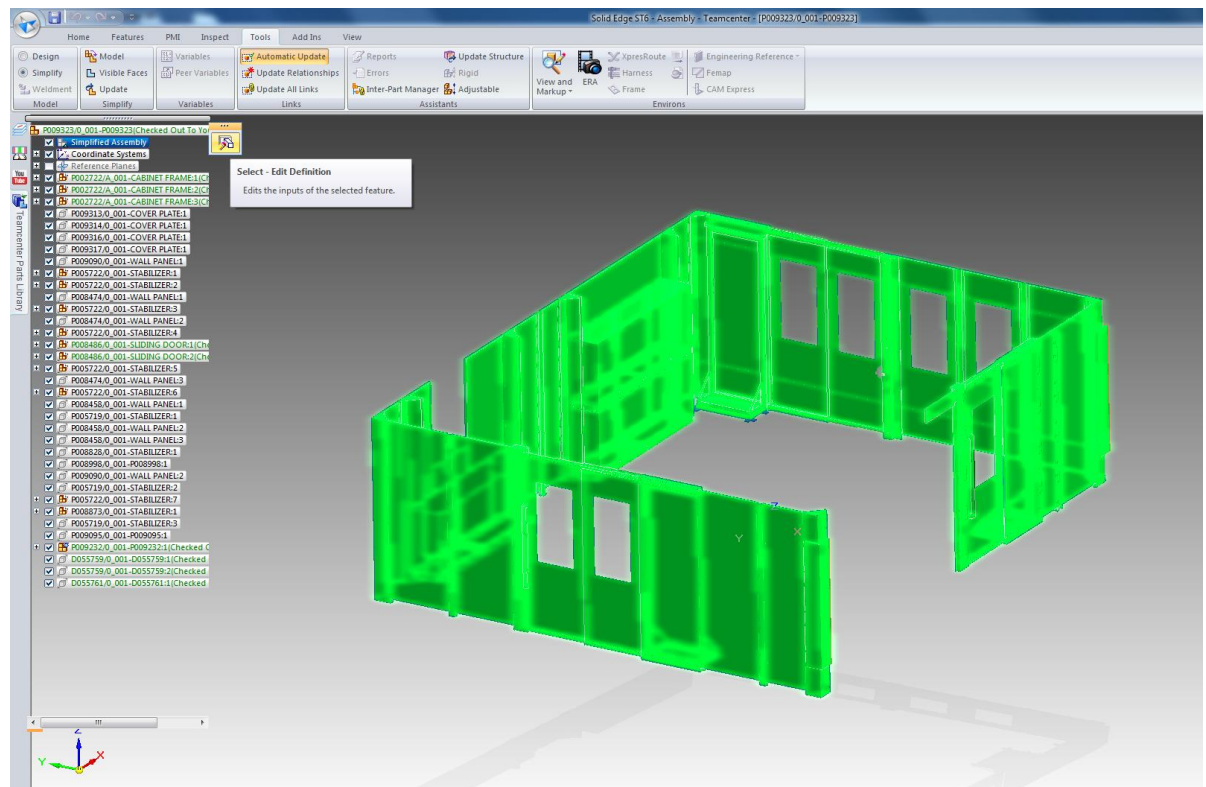
Teamcenteriin. Kun pääkokoonpano avataan seuraavan kerran Solid Edgeen revisiosäännöllä "Latest by Creation Date", hakee Solid Edge Teamcenteristä kokoonpanojen uusimmat versiot ja näin ollen edellä mainitusta revolveristä latautuu näytölle kaikkein uusin versio, joka on aiemmin tallennettu.

6.6 Havaintoja simplified -työkalujen ja konfiguraatioiden käytöstä

6.6.1 Yksinkertaistetun kokoonpanon päivittäminen

Kun pääkokoonpano otettiin yrityksessä käyttöön, huomattiin varsin pian, että pääkokoonpanon muodostavista moduuleista laaditut yksinkertaistetut kokoonpanot eivät kaikissa tapauksissa vastanneetkaan todellisuutta. Syy tähän on se, että yksinkertaistettua mallia ei oltu päivitetty sen jälkeen kun kokoonpanoon oli tehty muutoksia. Simplified assembly ei ole varsinainen kokoonpano, vaan viimeisimmän rakenteen ympärille luotu pintaverkko (eng. *construction body*), joka on aina otos siitä hetkestä kun se on tehty. Solid Edgessä ei ole yksinkertaistetulle kokoonpanolle automaattista päivitysmahdollisuutta, vaan käyttäjän on aina itse huolehdittava siitä, että malli on ajantasalla. (Siemens PLM 2015.)

Jokaista suunnittelijaa ohjeistettiin päivittämään yksinkertaistettu malli, kun saa suoritettua jonkun suunnittelutehtävän loppuun, jotta malli pysyy ajantasalla. Asiaa hankaloittaa se, että mallit on pääsääntöisesti luotu moduulien ylimmille tasoille, eli mallisarjan tuotepuussa oleville numeroille. Jos suunnittelutehtävä koskee jotain nimikkeen alikokoonpanoa, saattaa yksinkertaistettu malli jäädä päivittämättä. Suunnittelun pääkokoonpanoa suositellaan käytettäväksi myös pienempiä suunnittelutehtäviä suoritettaessa, koska silloin on nähtävissä suoraan, mihin moduuliin ko. alikokoonpano kuuluu ja päivittämisen toteuttaminen on suoraviivaisempaa. Moduulin nimikenumeron voi selvittää myös tuotepuun kautta ja seuraamalla relaatiotsuhteita Teamcenterissä niin pitkälle, että löytää oikean.



Kuva 20. Simplified Assemblyn päivittäminen
(Siemens PLM 2015)

Simplified Assemblyn päivittämisessä toimivammaksi vaihtoehdoksi todettiin yksinkertaistetun mallin uudelleen prosessointi käyttämällä muokkaustilaa (kuva 20). Vaihtoehtoinen päivitystapa olisi *update* –komento, mutta sen toiminnassa havaittiin puutteita, eikä toimintalogiikasta saatu täyttä varmuutta.

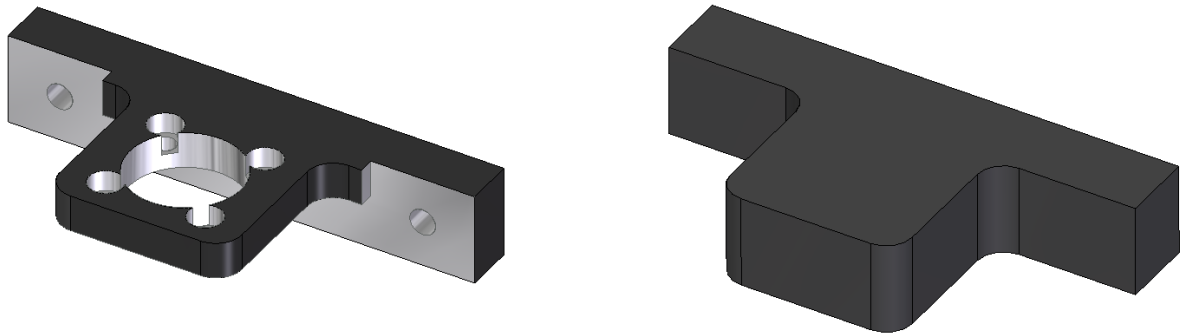
6.6.2 Pääkokoonpanon käyttö piirustuksissa

Koska pääkokoonpanosta on luotu yksinkertaistettu malli, kannattaa sitä myös hyödyntää piirustuksissa referenssiympäristönä, joka auttaa kokoonpanojen asentamista kokoonpanolinjalla. Kun levytyökeskuksen pääkokoonpanoa tuodaan piirustukseen, valitaan kuvannon määritysasetukset siten, että pääkokoonpanon liittäminen piirustukseen ei vaadi valtavasti laskenta-aikaa. Näitä ovat mm. piilo- ja tangenttiviivojen poisto, sekä yksinkertaistettujen mallien käyttö kaikista alikokoonpanoista. Lisäksi kuvannosta kannattaa ennen piirustukseen liittämistä poistaa näkyvistä sellaisia moduleita, jotka eivät ole tarpeellisia referenssiympäristöä esitettäessä. Yleensä kokoonpanot, joista piirustuksia

tehdään, ovat kooltaan hyvin pieniä verrattuna levytyökeskuksen pääkokoonpanoon. Tällöin referenssikuvanto kannattaa "jäädyttää" piirustukseen, jolloin piirustus avautuu nopeammin. Koska revisiossa tehtävät muutokset ovat tyypillisesti visuaalisesti hyvin pieniä, ei referenssikuvannon päivittäminen ole välttämättä tarpeellista. Kuvannon jäädyttäminen tehdään Solid Edgen "Convert to 2D-View" -komennolla. Huomattavaa on, että konvertoitua kuvantoa ei pysty enää muuttamaan takaisin aktiiviseksi, eikä päivittämään. Jos referenssikuvantoa tulee myöhemmin tarve päivittää, täytyy se liittää pääkokoonpanosta piirustukseen uudelleen. Vaihtoehtoisesti pieniä muutoksia pystyy tekemään myös Solid Edgen piirustustyökaluilla, eli käytännössä viivoja piirtämällä. (Siemens PLM 2015.)

6.6.3 Piirrepohjaisen menetelmän hyödyntäminen koneistusosissa

Piirrepohjainen menetelmä ei ole kokoonpanoja käsiteltäessä välttämättä paras toimintatapa, mutta menetelmää voidaan käyttää silloin, kun yksittäisestä komponentista halutaan laatia yksinkertaistettu malli. Tällöin komponentin piirrepuusta voidaan vapaasti poistaa piirteitä, jotka ovat osan visuaalisen ulkonäön kannalta merkityksettömiä. Ominaisuudesta voisi olla suurta hyötyä silloin, kun koneistettavasta osasta halutaan muodostaa nopeasti valmistamiseen tarvittava ahiomalli. Tällöin samaa mallitiedostoa voidaan käyttää hyväksi laadittaessa kaksi eri piirustusta: toinen koneistusta ja toinen polttoleikeaihiota varten. Piirrepohjaisten työkalujen avulla mallin ympärille voidaan myös lisätä materiaalia, kun aihioon halutaan jättää koneistusvaraa. Kohdeyrityksessä aihion vaativat, koneistettavat osat esitetään kokoonpanorakenteena, jossa aihio on kokoonpanoon kuuluva osa. Kun koneistus (kokoonpanosta) laaditaan piirustus, voidaan kuvantoa sijoitettaessa valita, käytetäänko kokoonpanoon kuuluvista osista yksinkertaistettuja vai täydellisiä malleja. Ahiomalleja voidaan hyödyntää myös laadittaessa piirustusta hitsauskokoonpanosta, joille suoritetaan koneistuksia. (Siemens PLM 2015.)



Kuva 21. Piirrepohjaisen menetelmän käyttö koneistettavissa osissa
(Siemens PLM 2015)

Kuvassa 21 on esimerkki piirrepohjaisen menetelmän käytöstä koneistusosien suunnittelussa. Sama Solid Edge -tiedosto sisältää osasta kaksi eri versiota, joista voidaan valita, kumpaa kussakin piirustuksessa käytetään. (Siemens PLM 2015.)

7 YHTEENVETO

Ahoniemen ym. (2007, 8) mukaan asiakasräätälöitävien tuotteiden valmistaminen on hyvin yleinen piirre varsinkin suomalaisissa vientiyrityksissä. Muualla maailmassa nähtävää laajamittaista massatuotannon hyödyntämistä ei Suomessa juuri tavata. Kilpailukykyensä säilyttämiseksi yritysten on täytynyt erikoistua ja ottaa markkinoilta juuri ne vaikeimmat tilaukset, joita muut eivät pysty tai halua toteuttaa. Geneerisen tuoterakenteen ja etenkin tuotekonfiguraattorien käytöstä on saatavilla paljon suomalaisten tutkijoiden kirjoittamaa materiaalia (esim. Männistö ym. 1998; Martio ym. 2002; Peltonen ym. 2002 ja Tiuhonen ym. 1997, 1998). Lähdemateriaalin perusteella geneerinen tuoterakenne on paras tapa esittää konfiguroitava tuoterakenne. Siinä vältetään yksittäisten, kiinteiden osalistojen tuomat ongelmat, kuten päällekkäisen tiedon ylimäärä, tietojen hajanaisuus ja ylläpidon mahdottomuus. Tässä työssä lähdemateriaalista on poimittu teorial tietoa geneerisen tuoterakenteen idean esiin tuomiseksi. Monissa työssä käytetyissä materiaaleissa on myös paljon käytännön teoriaa liittyen erityisesti tuotekonfiguraattorien ohjelmointiin ja niiden ohjelmistologiikkaan. (esim. Jiao ym. 2000; Raharno & Martawirya 2012 ja Ramabhatta ym. 2003). Monesti geneerisen tuoterakenteen käyttöönoton esteenä ovat juuri ohjelmistolliset ongelmat, koska konfigurointiin ja tuoterakenteiden hallintaan käytettävät ohjelmistot ovat toiminnoiltaan vielä jossain määrin puutteellisia (esim. Peltonen ym. 2002, 81). Syynä saattaa olla se, että yksilöimättömät rakenteet aiheuttavat ongelmia ohjelmistojen logiikalle, jotka usein perustuvat ohjelmistokoodin täydelliseen yksiselitteisyyteen. Opinnäytetyössä ei syvennytty niinkään konfiguraattorin ohjelmointiin ja siihen liittyvän teoriaan, mutta lähdemateriaaleista voisi olla hyötyä, jos yritys päättää tilata ohjelmistotoimittajalta räätälöidyn ratkaisun konfigurointiprosessia varten.

Elgårdin & Millerin (1998, 2) mukaan yrityksen on kiinnitettävä huomiota asiakasräätälöitävän tuotteen variointiin, sillä yksistään varianttien suuri lukumäärä ei välttämättä takaa parasta asiakastyytyväisyyttä ja kilpailuetua. On erotettava tuotteen ominaisuuksien kannalta asiakkaalle olennaisimmat variantit ja päästävä eroon varsinkin tuotteen sisäisistä varianteista, jotka eivät edes näyttäydy asiakkaalle. Työssä on mainittu tilaus-toimitusprosessin aikana käytettävät

tietojärjestelmät, joita ovat myyntikonfiguraattori, suunnittelun konfiguraattori sekä toiminnanohjausjärjestelmä. Kaikki edellä mainitut voivat olla erillisiä tietojärjestelmiä tai yhden järjestelmän avulla toteutettuja toimintoja. Kuitenkin, mitä enemmän tuotetietoa käsitteleviä erillisiä järjestelmiä on, sitä vaikeampaa on niiden yhteen liittäminen ja tietojen siirto niiden välillä (Peltonen ym. 2002, 86). Esimerkiksi tuoterakenteiden siirto PLM-järjestelmästä toiminnanohjausjärjestelmään on usein ongelmallista. Tiedonsiirtoajat saattavat olla hyvinkin pitkiä näiden kahden järjestelmän välillä, jolloin toiminnan mielekkyyttä on syytä arvioida kriittisesti (Kantola 2015). Tuotantokonfigurointi (toiminnanohjaus) käsittelee tyypillisesti samoja rakenteita, kuin PLM-järjestelmä, minkä vuoksi sen olisi Peltosen ym. (2002, 86) mukaan hyvä olla osa PLM-järjestelmää. Tällä hetkellä tilauskonfiguraatio tehdään kohdeyrityksessä ERP-ohjelmiston avulla. Avaintoimittajilla on kuitenkin pääsy yrityksen PLM-järjestelmään Jakamo -alustan kautta, jonka avulla he pääsevät rajoitetuin käyttöoikeuksin tarkastelemaan heiltä tilattuja kokoonpanoja ja niihin kuuluvia komponentteja (Kantola 2015). Koska PLM-järjestelmää hyödynnetään jo dokumenttien jakamisessa, olisi selvitettävä, voitaisiinko sitä hyödyntää enemmän myös tilaus-toimitusprosessissa.

Teamcenter osoittautui konfiguraatiotyökaluna toiminnaltaan vielä puutteelliseksi, eikä vastannut yrityksen asettamia vaatimuksia. Tarkoituksena oli luoda jokaiselle asiakasprojektille oma rakenne yksilöllisellä nimikenumeraalla, jolloin rakenteita olisi mahdollista tarkastella ja hallita Teamcenterin avulla myös tilaus-toimitusprosessin jälkeen. Tämä ei vielä tällä hetkellä ole mahdollista ilman ERP-järjestelmään tehtävää siirtoa. Siemensin ohjelmistotuotteiden tukitoiminnoista Suomessa vastaavan Ideal PLM:n kanssa on käyty keskusteluja, onko Teamcenteriin mahdollista laatia räätälöity aliohjelma, joka pystyisi toteuttamaan konfiguraattorille asetetut vaatimukset. Jos yritys päättää tilata ulkopuoliselta ohjelmistotoimittajalta vaatimuksia vastaavan, räätälöidyn konfiguraattoriratkaisun, olisi sen vastattava tuotetiedon hallinnan lisäksi ainakin seuraaviin kysymyksiin, jotta PLM-järjestelmä pystyisi korvaamaan käytössä olevan ERP-ohjelmiston (Kantola 2015):

- Kenelle osa tai kokoonpano määrätään valmistettavaksi (alihankkijan nimi?)

- Mikä on osan kustannus ja toimitusaika?
- Missä vaiheessa tilaus-toimitusprosessia se tehdään?
- Missä vaiheessa se toimitetaan kokoonpanolinjalle?

Solid Edgen Simplified –työkalut osoittautuivat suurten kokoonpanojen käsittelyssä erittäin toimiviksi. Tämän työn seurauksena yrityksessä aiotaan muodostaa pääkokoonpanot samoja periaatteita hyödyntäen myös joidenkin vanhempien mallisarjojen koneista. Yhteisestä pääkokoonpanosta on hyötyä kyseessä olevien koneiden sarjamuutosprosessien läpiviemisessä. (Ala-Prinkkilä 2015.) Yksinkertaistettujen mallien avulla muodostettu pääkokoonpano laskee tietokoneen suorituskykykuormitusta niin merkittävästi, että sitä voidaan käyttää myös kannettavan tietokoneen avulla. Yhteinen pääkokoonpano antaa mahdollisuuden luoda tuotteesta helposti visuaaleja, mitkä parantavat kokonaisuuden hahmottamista varsinkin tuotekehitysprojektin alkuvaiheessa. (Hauhtonen 2015.)

Yhteisellä pääkokoonpanolla voidaan saavuttaa muitakin suuria etuja yrityksen tuotekehitystoiminnassa. Sen avulla voidaan parantaa mm. suunnittelutehtävien vasteaikaa: varsinainen, tuottava suunnittelutyö päästään aloittamaan aiempaa nopeammin (Ala-Prinkkilä 2015). Nevaranta (2015) mukaillen suunnittelun yhteisen pääkokoonpanon avulla voidaan parantaa mm:

- suunnittelun laatua
- suunnittelu-aikaa
- suunnittelukustannusta
- kehittämisen kyvykkyyttä

Näillä parannuksilla saavutetaan merkittäviä etuja, kun puhutaan tuotteen kokonaiskustannuksista. Lisäksi käytettävissä olevat suunnitteluresurssit voidaan kohdentaa entistä tehokkaammin varsinaiseen suunnittelutyöhön.

LÄHTEET

- Ahoniemi, L., Mertanen, M., Mäkipää, M., Sievänen, M., Suomala, P. & Ruohonen, M. 2007. Massaräätälöinnillä kilpailukykyä. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
- Ala-Prinkkilä, A. 2015. Chief Designer, Mechanical Engineering. Prima Power. Palaveri 10.12.2015.
- Chatras, C., Giard, V. & Sali, M. 2015. High variety impacts on Bill of Materials Structure: Carmakers case study. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 28.2.2016]. Saatavana: <https://basepub.dauphine.fr/bitstream/handle/123456789/15010/Chatras%20et%20al%202015%20N280.pdf?sequence=1>
- Elgård, P. & Miller, T. 1998. Designing Product Families. [Verkkojulkaisu]. Aalborg, Tanska: Aalborg University. [Viitattu 10.4.2016]. Saatavana: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.201.6197&rep=rep1&type=pdf>
- Favorin, L. 2015. Electrical Designer. Prima Power. Palaveri 10.12.2015.
- Hauhtonen, J. 2015. Vice President, R&D. Prima Power. Keskustelu 20.11.2015.
- Jiao, J., Tseng, M., Ma, Q. & Zou, Y. 2000. Generic Bill-of-Materials-and-Operations for High-Variety Production Management. Singapore: School of Mechanical and Production Engineering, Nanyang Technological University. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.10.2015]. Saatavana: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.121.1353&rep=rep1&type=pdf>
- Jokela, M. 2011. Tuotteen tietomallin rakenne. [Verkkosivu]. [Viitattu 23.10.2015]. Saatavana: <http://inside-the-plm.blogspot.fi/p/tuotteen-tietomallin-rakenne.html>
- Kantola, J. 2015. Master Data Coordinator. Prima Power. Keskustelu 9.11.2015.
- Martio, A., Peltonen, H. & Sulonen, R. 2002. PDM - Tuotetiedonhallinta. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Miller, T. & Elgård, P. 1998. Defining Modules, Modularity and Modularization: Evolution of the Concept in a Historical Perspective. [Verkkojulkaisu] Aalborg, Tanska: Aalborg University. [Viitattu 28.12.2015]. Saatavana: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.868&rep=rep1&type=pdf>

- Männistö, T., Peltonen, H., Martio, A. & Sulonen, R. 1998. Modelling generic product structures in STEP. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.10.2015]. Saatavana: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.102.8966&rep=rep1&type=pdf>
- Nevaranta, J. 2015. Tuotekehitystoiminnan johtaminen. 1. luento. SeAMK: Kurssimateriaalit.
- Peltonen, H., Männistö, T., Soininen, T., Tiihonen, J., Martio, A. & Sulonen R. 1998. Concepts for Modelling Configurable Products. Espoo: Helsinki University of Technology. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 28.3.2016]. Saatavana: <https://www.cs.helsinki.fi/u/jutiihon/publications/PeltonenEtAl1998Manuscript.pdf>
- Prima Power. 2015. R&D osaston dokumentit sekä markkinointimateriaalit.
- Ramabhatta, V., Lin, L. & Nagi, R. & 2003. Object Hierarchies to Aid Representation and Variant Design of Complex Assemblies in an Agile Environment. [Verkkojulkaisu]. Buffalo, USA: State University of New York at Buffalo. [Viitattu 26.10.2015]. Saatavana: <http://www.eng.buffalo.edu/~nagi/papers/vish.pdf>
- Raharno, S. & Martawirya, Y. 2012. Improvement of the Bill of Materials (BOM) Generator for Product Variants. [Verkkojulkaisu]. Bandung, Indonesia: Mechanical Engineering Department. [Viitattu 26.10.2015]. Saatavana: http://www.seed-net.org/download/ManuE018_Revised4_090913_2.pdf
- Rintaniemi, A. Chief Designer, R&D Layouts. Prima Power. Keskustelu 14.1.2016.
- Sarinko, K. 1999. Asiakaskohtaisesti muunneltavien tuotteiden massaräätälöinti, konfigurointi ja modulointi. [Diplomityö]. Teknillinen korkeakoulu. [Viitattu 29.10.2015]. Saatavana: <http://www.soberit.hut.fi/pdmg/papers/Sari99Mas.pdf>
- Siemens PLM Software Inc. 2015. Solid Edge ja Teamcenter ohjelmistot ja itseopiskelumateriaalit. Jakelija Suomessa Ideal PLM.
- Simpson, T., Siddique, Z. & Jiao, J. 2005. Product Platform and Product Family Design: Methods and Applications. New York: Springer.
- Sääksvuori, A. & Immonen, A. 2002. Tuotetiedon hallinta - PDM. Helsinki: Talentum Media Oy.
- Tiihonen, J. & Soininen, T. 1997. Product Configurators – Information System Support for Configurable Products. Espoo: Helsinki University of Technology. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 29.10.2015]. Saatavana: <http://www.cs.helsinki.fi/u/jutiihon/publications/Tiihonenetal1998ConfiguratorsceIsart.pdf>

Tiihonen, J., Soininen, T., Männistö, T. & Sulonen, R. 1998. Configurable products - Lessons learned from the Finnish industry. Espoo: Helsinki University of Technology. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 2.4.2016]. Saatavana: <https://www.cs.helsinki.fi/u/jutiihon/publications/TiihonenEtAlEda98368.pdf>

Valli, A. 2015. Controller, Finance. Prima Power. Haastattelu 7.12.2015.

